

REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES - CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM SERVIÇO

VITOR EMANUEL MARTINS CARDOSO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de
Almeida

JUNHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

“Who is John Galt?”

Ayn Rand

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Vasco Peixoto de Freitas, agradeço pelo apoio, paciência e disponibilidade, mas principalmente pelos conhecimentos transmitidos, críticas construtivas e orientação prestada.

Ao Professor Ricardo Almeida, agradeço o apoio e disponibilidade, os conteúdos e conhecimentos passados, a discussão de soluções e o esclarecimento relativamente às mais variadas matérias.

Aos elementos do Laboratório de Física das Construções pelo tempo e apoio prestados com equipamentos de medição e dados necessários.

Aos meus pais, por aguentarem firme.

Aos meus amigos, pelos momentos.

À minha namorada, pelo apoio incondicional.

A todos vós, um sincero obrigado.

RESUMO

A reabilitação de edifícios escolares reveste-se da maior importância em Portugal e em vários países europeus. Recentemente foram investidos na reabilitação de escolas portuguesas mais de dois mil milhões de euros. Nem sempre o resultado foi o desejado.

Considera-se da maior relevância estudar a reabilitação de edifícios escolares com o objetivo de encontrar soluções otimizadas do ponto de vista técnico-económico.

Nesta dissertação efetuou-se um estudo demográfico para permitir perspetivar a evolução do número de alunos em 2025, bem como as necessidades reais de reabilitação e respetivo investimento, na região Norte de Portugal. Por outro lado, caracterizaram-se as soluções de envolvente dos edifícios escolares ao longo do tempo, bem como os sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento instalados.

Com base num Caso de Estudo, cujo custo de reabilitação por metro quadrado é substancialmente inferior ao custo verificado nas intervenções da empresa pública Parque Escolar, monitorizou-se o desempenho em serviço de salas de aulas do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Reabilitação de edifícios escolares, Desempenho higrotérmico, Caracterização experimental

ABSTRACT

The rehabilitation of school buildings is of the utmost importance in Portugal and in several European countries. The recent investment in rehabilitation of portuguese schools went over two billion euros. The result was not always the desired one.

There is a need to study the rehabilitation of school buildings with the goal to find optimized solutions in a technical-economic point of view.

In this dissertation a demographic study was conducted allowing to perceive the evolution in the number of pupils till 2025 as well as the actual needs of investment in rehabilitation, in the North region of Portugal. On the other hand, surrounding solutions of school buildings over time were characterised, as well as installed ventilation, heating and cooling systems.

On the basis of a Case Study, whose cost per square meter on rehabilitation is substantially less than the cost of interventions in the public company Parque Escolar, the performance of several classrooms were monitored in service.

KEYWORDS: Rehabilitation of school buildings, Hygrothermal performance, Experimental characterization

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS E ESTRATÉGIA	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	3
2. DEMOGRAFIA E NECESSIDADES FUTURAS DE ESTABELECIMENTOS ESCOLARES	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. DEMOGRAFIA	5
2.3. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE ALUNOS	6
2.3.1. NECESSIDADES FUTURAS DE ESTABELECIMENTOS ESCOLARES NA REGIÃO NORTE A NUTS II	10
2.3.2. LEVANTAMENTO ESCOLAR POR TIPOLOGIA NA REGIÃO NORTE A NUTS II	11
2.3.3. CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA REGIÃO NORTE A NUTS II	12
2.4. INVESTIMENTO A 10 ANOS	14
3. A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA EUROPA E EM PORTUGAL	15
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. PESO DOS EDIFÍCIOS ESCOLARES NA UNIÃO EUROPEIA E EM PORTUGAL	15
3.3. PROGRAMAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA EUROPA	17

3.4. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR	21
3.4.1. CONFORTO TÉRMICO	21
3.4.2. PARÂMETROS DE CONFORTO	22
3.4.3. QUALIDADE DO AR INTERIOR	22
3.5. EDIFÍCIOS ESCOLARES EM PORTUGAL.....	23
3.5.1. TIPOLOGIAS E HISTÓRIA	23
3.5.2. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DA ENVOLVENTE EXTERIOR DO PARQUE ESCOLAR EDIFICADO	25
3.5.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DA EMPRESA PARQUE ESCOLAR PARA A ENVOLVENTE EXTERIOR	27
3.5.4. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DA ENVOLVENTE EXTERIOR DO CASO DE ESTUDO.....	29
3.6. ANÁLISE CRÍTICA	30
 4. TIPIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO NO PARQUE ESCOLAR PORTUGUÊS	 35
4.1. INTRODUÇÃO	35
4.2. ALTERAÇÕES RELEVANTES ENTRE O RSECE E O RECS NO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS ESCOLARES.....	35
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO NO PARQUE ESCOLAR NÃO INTERVENCIÓNADO	38
4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS INSTALADOS NAS INTERVENÇÕES DA EMPRESA PÚBLICA PARQUE ESCOLAR	40
4.4.1. IMPLICAÇÕES DO SCE E DO RSECE.....	41
4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DO MODELO PROPOSTO NO CASO DE ESTUDO	43
4.5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	45
4.5.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DO MODELO PROPOSTO	48
4.5.3. GESTÃO TÉCNICA CENTRALIZADA DO MODELO PROPOSTO	49

4.6. REFLEXÃO	53
----------------------------	-----------

5. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM SERVIÇO DO CASO DE ESTUDO 55

5.1. INTRODUÇÃO	55
------------------------------	-----------

5.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DO CORPO.....	55
--	-----------

5.3. METODOLOGIA	55
-------------------------------	-----------

5.4. CONDIÇÕES EXTERIORES	60
--	-----------

5.5. RESULTADOS, COMPARAÇÃO E INTERPRETAÇÃO.....	61
---	-----------

5.5.1. ENQUADRAMENTO	61
----------------------------	----

5.5.2. TEMPERATURA INTERIOR	62
-----------------------------------	----

5.5.2. HUMIDADE RELATIVA INTERIOR	69
---	----

5.5.3. CONCENTRAÇÃO INTERIOR DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	70
---	----

6. CONCLUSÕES 77

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
--	-----------

6.2. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	77
---	-----------

6.3. DESENVOLVIMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
--	-----------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
---	-----------

ANEXO I - TIPOLOGIA CONSTRUTIVA DAS ESCOLAS PÚBLICAS COM 2º OU 3º CICLO DO ENSINO BÁSICO OU ENSINO SECUNDÁRIO, NA REGIÃO NORTE, A NUTS II

ANEXO II - HORÁRIOS DE OCUPAÇÃO TEÓRICA DAS SALAS MONITORIZADAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pirâmide etária, Portugal, estimativas de 2012 e projeções por cenários a 2035 [1]	6
Figura 2.2 - População residente dos 0 aos 14 anos em Portugal, 1991-2060 [1].....	6
Figura 2.3 - Evolução do número de nados vivos em Portugal continental, 2000-2012 [2]	7
Figura 2.4 - Previsão da evolução do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório, até ao ano letivo de 2017/18, em Portugal continental (adaptado de [2])	8
Figura 2.5 - Previsão da evolução do número de alunos total do 2º ciclo do EB ao ES e do 1º ciclo do EB ao ES, até ao ano letivo de 2017/18, em Portugal continental (adaptado de [2])	8
Figura 2.6 - Previsão da evolução do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório, até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])	9
Figura 2.7 - Previsão da evolução do número de alunos total do 2º ciclo do EB ao ES e do 1º ciclo do EB ao ES, até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])	10
Figura 2.8 - Parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por tipologia construtiva, na região Norte, a NUTS II.....	12
Figura 2. 9 - Poupanças relativas, em custos iniciais, entre diferentes cenários e diferentes modelos de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II.....	13
Figura 3.1 - Percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios na UE a 27, Noruega e Suíça em 2011 [7].....	16
Figura 3.2 - Percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios em Portugal em 2012 [8]	16
Figura 3.3 - Frequências acumuladas de temperaturas e concentrações de CO2 durante estação de aquecimento e arrefecimento em salas de aula com diferentes tipos de ventilação [10]	18
Figura 3.4 - Pormenor de vãos envidraçados com isolamento térmico na caixilharia [11].....	19
Figura 3.5 - Liceu Rodrigues de Freitas, Porto [21]	23
Figura 3.6 - Liceu Martins Sarmiento, Guimarães [21]	24
Figura 3.7 - Da esquerda para a direita: Base Liceal; Base Técnica; Tipo Brandão [13].....	25
Figura 3.8 - Da esquerda para a direita: Tipo Blocos 3x3; Tipo Monobloco [13].....	25

Figura 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de coberturas por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo	30
Figura 3.10 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de paredes exteriores por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo	31
Figura 3.11 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de vãos exteriores por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo	31
Figura 3.12 - Fatores solares dos vãos envidraçados por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo	31
Figura 3.13 - Valores médios de coeficientes de transmissão térmica e fatores solares das soluções construtivas originais e das soluções construtivas das intervenções tipo de reabilitação da Parque Escolar e do Caso de Estudo	32
Figura 4.1 - Comparação dos caudais mínimos de ar novo entre o método prescritivo do RSECE e o método prescritivo e analítico do RECS, para diferentes taxas de ocupação e ocupantes com diferentes atividades metabólicas e áreas de DuBois.....	38
Figura 4.2 - Esquema original de estratégia de ventilação natural cruzada numa sala de aula tipo do liceu nacional de Almada (adaptado de [23])	39
Figura 4.3 - Esquema tipo do processo de admissão de ar novo e extração de ar viciado em salas de aula reabilitadas pela Parque Escolar [40].....	41
Figura 4.4 - Implicações construtivas dos sistemas de AVAC da Parque Escolar no interior das escolas reabilitadas [21]	42
Figura 4.5 - Implicações construtivas dos sistemas de AVAC da Parque Escolar pelo exterior das escolas reabilitadas [21]	42
Figura 4.6 - Taxas de ventilação por sistemas VAC e por sistemas alternativos com ventilação controlada pelas necessidades reais (adaptado de [42])	44
Figura 4.7 - Esquema do processo de admissão de ar novo nas salas de aula do Caso de Estudo [44]	45
Figura 4.8 - Esquema do processo de extração do ar viciado das salas de aula do Caso de Estudo [44]	46
Figura 4.9 - Esquema do processo de extração de ar viciado das circulações do Caso de Estudo [44]	46
Figura 4.10 - Posição tipo em planta das sondas de medição da concentração de CO ₂ nas salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])	47
Figura 4.11 - Esquema do sistema de ventilação instalado na reabilitação do Caso de Estudo [44] ..	47
Figura 4.12 - Posição dos radiadores nas salas de aula do Caso de Estudo [44]	48
Figura 4.13 - Posição tipo em planta das sondas de medição dos valores de temperatura e humidade relativa no interior das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])	48

Figura 4.14 - Esquema do funcionamento dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo [44].....	50
Figura 4.15 - Esquema do funcionamento dos ciclos de arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, em período letivo [44]	52
Figura 4.16 - Esquema do funcionamento dos ciclos de arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, fora de período letivo [44]	53
Figura 5.1- Posição das salas do piso 0 monitorizadas (adaptado de [35]).....	56
Figura 5.2 - Posição das salas do piso 2 monitorizadas (adaptado de [35])	56
Figura 5.3 - Posição em planta das sondas instaladas para a monitorização e das sondas de temperatura e humidade relativa permanentes associadas à GTC (adaptado de [35]).....	57
Figura 5.4 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 01	58
Figura 5.5 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 02	58
Figura 5.6 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 21	59
Figura 5.7 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 22	59
Figura 5.8 - Amplitudes térmicas máximas dos conjuntos de temperaturas aleatórias lidas por cada sonda, em cada sala de aula do Caso de Estudo	60
Figura 5.9 - Humidade relativa exterior durante o período de monitorização.....	60
Figura 5.10 - Temperatura exterior durante o período de monitorização	61
Figura 5.11 - Evolução da temperatura interior, exterior e concentração de CO ₂ ao longo do período de ocupação teórico de um dia letivo com temperaturas interiores anormalmente baixas, na sala 21	61
Figura 5.12 - Evolução da temperatura interior, exterior e concentração de CO ₂ ao longo do período de ocupação teórico de um dia letivo com temperaturas interiores anormalmente altas, na sala 21	62
Figura 5.13 - Temperatura interior registada na sala 01 ao longo do período letivo monitorizado	63
Figura 5.14 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado	63
Figura 5.15 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]	64
Figura 5.16 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em estação de aquecimento do período letivo monitorizado	64
Figura 5.17 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em estação de arrefecimento do período letivo monitorizado	64

Figura 5.18 - Temperatura interior registada na sala 02 ao longo do período letivo monitorizado.....	65
Figura 5.19 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado	65
Figura 5.20 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44].....	65
Figura 5.21 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em estação de aquecimento do período letivo monitorizado.....	66
Figura 5.22 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em estação de arrefecimento do período letivo monitorizado	66
Figura 5.23 - Frequências acumuladas das temperaturas interiores de todo o período letivo das salas monitorizadas do piso 0	68
Figura 5.24 - Humidade relativa interior registada na sala 01 ao longo do período letivo monitorizado	69
Figura 5.25 - Humidade relativa interior registada na sala 02 ao longo do período letivo monitorizado	69
Figura 5.26 - Humidade relativa interior registada na sala 21 ao longo do período letivo monitorizado	69
Figura 5.27 - Humidade relativa interior registada na sala 22 ao longo do período letivo monitorizado	70
Figura 5.28 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 01 durante todo o período letivo monitorizado	71
Figura 5.29 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44].....	71
Figura 5.30 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 02 durante todo o período letivo monitorizado	72
Figura 5.31 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44].....	72
Figura 5.32 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 21 durante todo o período letivo monitorizado	72
Figura 5.33 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 206, atual 24, no período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]	73
Figura 5.34 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores registadas na sala 207, atual 24, no período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]	73

Figura 5. 35 - Atual nomenclatura das salas de aula do piso 2 monitorizadas no estudo anterior no edifício do Caso de Estudo (adaptado de [35]).....	74
Figura 5.36 - Frequências acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores das quatro salas monitorizadas em todo o período letivo	75
Figura 5.37 - Frequências acumuladas das concentrações de CO ₂ interiores das quatro salas monitorizadas em todo o período letivo do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Previsão do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório até ao ano letivo de 2017/18 em Portugal continental (adaptado de [2])	7
Tabela 2.2 - Previsão do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])	9
Tabela 2.3 - Variação prevista do número de alunos, nos diferentes ciclos de ensino obrigatórios, em Portugal continental e na região Norte, a NUTS II, entre 2012 e 2018	10
Tabela 2.4 - Projeções do número de escolas a encerrar/reestruturar, a 2017/18 e 2022/23	11
Tabela 2.5 - Estimativa do número de escolas por reabilitar pela Parque Escolar da fase 3 do plano, na região Norte, a NUTS II.....	12
Tabela 2.6 - Cenários de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II	13
Tabela 2.7 - Poupanças em custos iniciais entre diferentes cenários de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II	13
Tabela 2.8 - Distribuição do investimento decenal necessário, ao ano, à reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II	14
Tabela 3.1 - Principais conclusões e recomendações de alguns projetos de reabilitação de edifícios escolares em climas do sul da Europa (adaptado de [9], [10], [11] e [12])	20
Tabela 3.2 - Intervalo de temperaturas operativas recomendadas com uma previsão de conforto térmico para 90% dos ocupantes segundo a ISO/EN 7730 (adaptado de [16])	22
Tabela 3.3 - Intervalo de temperaturas operativas recomendadas com uma previsão de conforto térmico para 90% dos ocupantes segundo a ASHRAE 55 (adaptado de [16])	22
Tabela 3.4 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de liceus históricos, liceus e escolas industriais e/ou comerciais (adaptado de [20] [24] e [25])	26
Tabela 3.5 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de escolas tipo brandão, tipo blocos 3x3 e tipo monobloco (adaptado de [20], [26], [27], [28], [29], [30] e [31])	27
Tabela 3.6 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de escolas reabilitadas pela Parque Escolar (adaptado de [32] e [33]).....	28
Tabela 3.7- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados para edifícios de comércio e serviços (adaptado de [34])	29
Tabela 3.8 - Fator solar dos vãos envidraçados de referência para edifícios de comércio e serviços (adaptado de [34])	29
Tabela 3.9 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior reabilitada do Caso de Estudo (adaptado de [35])	30
Tabela 4.1 - Principais diferenças entre o RSECE e o RECS quanto à manutenção da qualidade do ar interior em salas de aula (adaptado de [37] e [36]).....	36
Tabela 4.2 - Exigências de QAI em salas de aula com ocupação de 20 alunos e 1 professor (adaptado de [13])	36

Tabela 4.3 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento dos liceus históricos, liceus e escolas industriais e/ou comerciais (adaptado de [20] e [23])	39
Tabela 4.4 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento das escolas tipo brandão, tipo blocos 3x3 e tipo monobloco (adaptado de [20], [26], [27], [28], [29], [30] e [31])	39
Tabela 4.5 - Caracterização dos sistemas de ventilação e climatização instalados nas escolas reabilitadas pela Parque Escolar (adaptado de [39])	40
Tabela 4.6 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento instalados na reabilitação do Caso de Estudo (adaptado de [35])	45
Tabela 4.7 - Permissão de funcionamento dos sistemas de ventilação e aquecimento nas salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])	49
Tabela 4.8 - Critérios de arranque dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])	50
Tabela 4.9 - Critérios de paragem dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])	50
Tabela 4.10 - Caudais de extração, nas circulações do Caso de Estudo, do ventilador de extração geral da Ala Norte (adaptado de [35])	51
Tabela 4.11 - Caudais de extração, nas circulações do Caso de Estudo, do ventilador de extração geral da Ala Sul (adaptado de [35]).....	51
Tabela 4.12 - Critérios de arranque e paragem dos ciclos de ventilação para arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, durante período letivo, em estação de arrefecimento (adaptado de [35])	52
Tabela 4.13 - Critérios de arranque e paragem dos ciclos de ventilação para arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, fora de período letivo, em estação de arrefecimento (adaptado de [35])	52
Tabela 5.1 - Escala de conforto térmico pretendido nas salas de aula reabilitadas do Caso de Estudo	63
Tabela 5.2 - Tratamento estatístico das leituras de temperatura interior e intervalos de conforto térmico nas salas de aula monitorizadas	67
Tabela 5.3 - Tratamento estatístico das medições de humidade relativa interior e intervalos de conforto nas salas de aula monitorizadas	70
Tabela 5.4 - Tratamento estatístico das leituras de concentração de CO ₂ interior e intervalos relevantes nas salas de aula monitorizadas	74

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Em países desenvolvidos, um dos espaços, senão o espaço onde os jovens passam a maior parte do seu tempo, durante o dia, é a escola e particularmente, a sala de aula. Grande parte do parque escolar europeu, incluindo a quase totalidade do parque escolar português, não foi dimensionado para dar resposta às exigências atuais de desempenho higrotérmico e qualidade do ambiente interior, a necessidade de reabilitar o parque escolar para estas exigências, resultou nos últimos anos, em muitos países europeus, Portugal incluído, em investimentos significativos nesta área.

A reabilitação de edifícios escolares apresenta-se em dois planos distintos na conjuntura económica e social dos países desenvolvidos. Ao nível social, a melhoria da qualidade do ambiente interior revela-se cada vez mais essencial em nome do desempenho dos seus ocupantes, bem como na melhoria da saúde destes, principalmente em patologias associadas ao sistema respiratório. Num prisma mais económico e tecnológico, a crescente preocupação e progressiva orientação cultural para a eficiência energética, para a redução da dependência de combustíveis fósseis e energia importada, particularmente na Europa, implica que a reabilitação para essa mesma eficiência seja uma prioridade, sem que se descure o balanço entre custos iniciais, custos operacionais e de manutenção, e durabilidade das soluções adotadas.

Devido à conjuntura económica e financeira atual dos países periféricos, como Portugal, em que o investimento público é mais comedido, o segundo aspeto ganha um peso acrescido. Um bom começo seria a adequação da regulamentação de forma a flexibilizar intervenções de reabilitação, pautadas por condicionantes diferentes da construção nova.

Mais importante é a capacidade de exploração e manutenção das soluções implementadas, particularmente, sistemas de ventilação e climatização, pela minimização de investimentos iniciais e consumos energéticos durante a exploração. A empresa pública Parque Escolar, nas suas intervenções adotou sistemas mecânicos de ventilação e climatização, que acarretam elevados custos iniciais e de funcionamento. Estes sistemas aliados a caudais de ar novo inflacionados conferem um papel nulo à envolvente exterior no controlo do conforto térmico.

Uma solução alternativa é necessária, com custos iniciais e de exploração muito inferiores. Uma solução com caudais de ar novo mais comedidos, em torno de valores de legislação internacional e de outros países europeus, que possibilite o aproveitamento das características da envolvente exterior do edifício para que se atinjam o equilíbrio pretendido entre custo e qualidade do ambiente interior.

O recentemente promulgado Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – RECS vem possibilitar a implementação de soluções não puramente mecânicas e significativamente menos dispendiosas que estas.

A caracterização do desempenho higratérmico, de salas de aula de um edifício escolar em serviço, reabilitado com soluções alternativas às utilizadas pela Parque Escolar, é a forma mais correta de validar a eficácia dos sistemas alternativos na manutenção da qualidade do ambiente interior. A validação deste modelo apresenta-o como uma opção real e técnico-economicamente interessante para intervenções futuras em edifícios do parque escolar português.

Ainda assim, estas intervenções têm de ser pautadas de prudência e de um estudo demográfico exaustivo em território português, tanto no global como por regiões. Portugal passa por um decréscimo populacional substancial que tenderá a agravar-se durante a presente década e estender-se-á para a próxima. O excesso de recursos do parque escolar, já a curto prazo, revela-se real e crescente, pelo que a avaliação da quantidade de estabelecimentos escolares a construir novos, reabilitar ou encerrar, de forma a responder às necessidades futuras de uma forma eficiente, é uma necessidade do agora.

1.2. OBJETIVOS E ESTRATÉGIA

O presente trabalho tem dois objetivos principais, sendo eles:

- Caracterizar o parque escolar com necessidades de reabilitação, refletindo sobre estratégias de isolamento térmico da envolvente, de obtenção de qualidade do ar interior e dos sistemas de ventilação;
- Avaliar o desempenho higratérmico em serviço de um edifício escolar, recentemente reabilitado na cidade do Porto, pela monitorização in situ das condições ambientais interiores, nomeadamente: temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono.

Outros objetivos complementares são tidos em conta:

- Analisar a evolução demográfica e o presente parque escolar do 2º e 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário, procurando um ponto de equilíbrio das necessidades futuras deste tipo de estabelecimentos e ainda equacionar financeiramente a reabilitação destes;
- Refletir e sustentar a importância da qualidade do ambiente interior no desenvolvimento e na educação dos alunos, o peso deste tipo de edifícios na parque edificado europeu, o papel pioneiro do setor público na sua reabilitação e o investimento em programas e estudos neste âmbito e respetivas conclusões e recomendações;
- Estudar e comparar, a regulamentação revogada e a vigente relevante na reabilitação, para a qualidade do ambiente interior, de edifícios escolares em Portugal, comparando-as com as disposições regulamentares de outros países.

A estratégia para atingir os objetivos propostos é:

- Cruzar dados estatísticos demográficos e fazer um levantamento exaustivo de estabelecimentos escolares por tipologia construtiva, na região Norte, a NUTS II, para possibilitar projeções de necessidades de reabilitação e encargos financeiros associados nesta região.
- Investigar o peso dos edifícios escolares no parque edificado europeu e registar conclusões de programas de reabilitação deste tipo de edifícios;
- Tomar conhecimento da história e da evolução do parque escolar português e de programas públicos recentes de reabilitação escolar;
- Caracterizar construtiva e termicamente a envolvente exterior de edifícios escolares portugueses, não intervencionados, intervencionados pela empresa pública Parque Escolar e a do edifício reabilitado do Caso de Estudo;

- Analisar as alterações, na regulamentação nacional, relevantes no conforto térmico e qualidade do ar interior de edifícios escolares, e comparar esta com as vigentes noutros países;
- Caracterizar os sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento de edifícios escolares portugueses, não intervencionados, intervencionados pela empresa pública Parque Escolar e os do edifício reabilitado do Caso de Estudo;
- Efetuar uma monitorização in situ que permita estudar o desempenho higrotérmico do edifício escolar reabilitado, com a monitorização em contínuo de humidade relativa interior, temperatura do ar interior e concentrações de dióxido de carbono no ar interior.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho está organizado em seis capítulos:

- O Capítulo 1 enquadra o desenvolvimento do trabalho, descreve os objetivos e a estratégia utilizada para os alcançar, e ainda a organização e estrutura textual;
- O Capítulo 2 conjuga dados demográficos e dados estatísticos perspetivando a evolução do número de alunos em Portugal continental e, em particular, na região Norte, a NUTS II - Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal. São feitas projeções para as necessidades futuras de estabelecimentos escolares, do 2º e 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário, e encargos financeiros com diferentes cenários de reabilitação nesta mesma região. Por último faz-se uma proposta de investimento a 10 anos na reabilitação do parque escolar que lecionam os ciclos referidos, na região estudada.
- O Capítulo 3 reflete e sustenta a importância da qualidade do ambiente interior no desenvolvimento e na educação dos alunos, o peso deste tipo de edifícios na parque edificado europeu, o papel pioneiro do setor público na sua reabilitação e o investimento em programas e estudos neste âmbito e respetivas conclusões e recomendações. É feita referência a normas internacionais de conforto térmico e qualidade do ar interior. Neste capítulo é ainda caracterizada construtiva e termicamente a envolvente exterior de edifícios escolares portugueses, não intervencionados, intervencionados pela empresa pública Parque Escolar e a do edifício reabilitado do Caso de Estudo, monitorizado na presente dissertação. Por fim, é feita uma análise crítica e comparativa entre soluções bem como a sua adequação às exigências atuais.
- O Capítulo 4 compara, inicialmente, as alterações, na regulamentação nacional, relevantes na manutenção da qualidade do ar interior de edifícios escolares, e compara os limites atuais com os vigentes noutros países. São caracterizados os sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento de edifícios escolares portugueses, não intervencionados, intervencionados pela empresa pública Parque Escolar e os do edifício reabilitado do Caso de Estudo. Por último, é feita uma análise crítica e comparativa entre os sistemas instalados em reabilitação, bem como a sua adequação às exigências atuais.
- O Capítulo 5 apresenta o edifício do Caso de Estudo, a metodologia de monitorização, dados das condições exteriores durante o período de estudo e os resultados das medições in situ. É feita uma análise estatística e crítica aos resultados.
- O Capítulo 6 sintetiza as principais conclusões tiradas no corpo da dissertação, e perspetiva desenvolvimentos relevantes para trabalhos futuros na mesma área de investigação.

2

DEMOGRAFIA E NECESSIDADES FUTURAS DE ESTABELECIMENTOS ESCOLARES

2.1. INTRODUÇÃO

O capítulo que se segue, numa primeira parte, reflete sobre a evolução demográfica da população portuguesa e sobre a evolução do número de alunos nos ciclos de ensino básico e no ensino secundário. A partir destes dados são feitas projeções para a região Norte (NUTS II - Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal) das necessidades futuras de edifícios escolares.

Numa segunda parte, faz-se um levantamento das escolas básicas do 2º e 3º ciclo e escolas secundárias públicas, da região Norte, por tipologia construtiva. São equacionados cenários de reabilitação construtiva deste conjunto de escolas. No final do capítulo é apresentado um plano de investimento público, a 10 anos, para a concretização de um dos cenários equacionados.

2.2. DEMOGRAFIA

Em Portugal, as projeções demográficas realizadas pelo INE, em 2010 e em 2014, sofreram uma alteração substancial entre si. Em qualquer dos cenários agora equacionados, nas previsões para 2060 existe uma tendência à diminuição da população residente, pelo aumento da população idosa e diminuição da população jovem, com menos de 15 anos de idade [1], como pode ser observado nas Figuras 2.1 e 2.2.

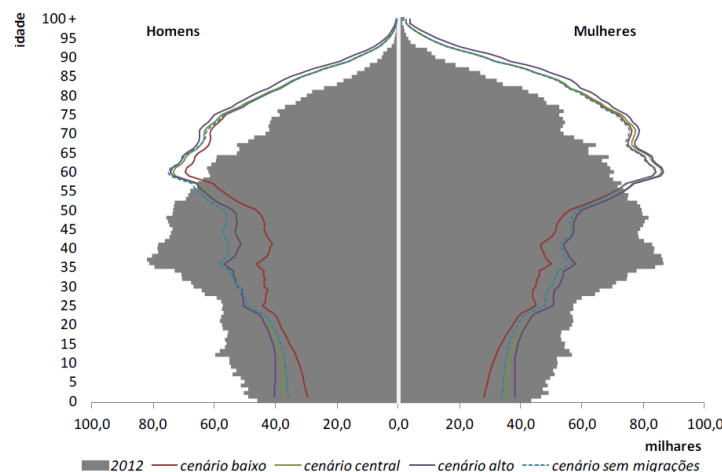


Figura 2.1 - Pirâmide etária, Portugal, estimativas de 2012 e projeções por cenários a 2035 [1]

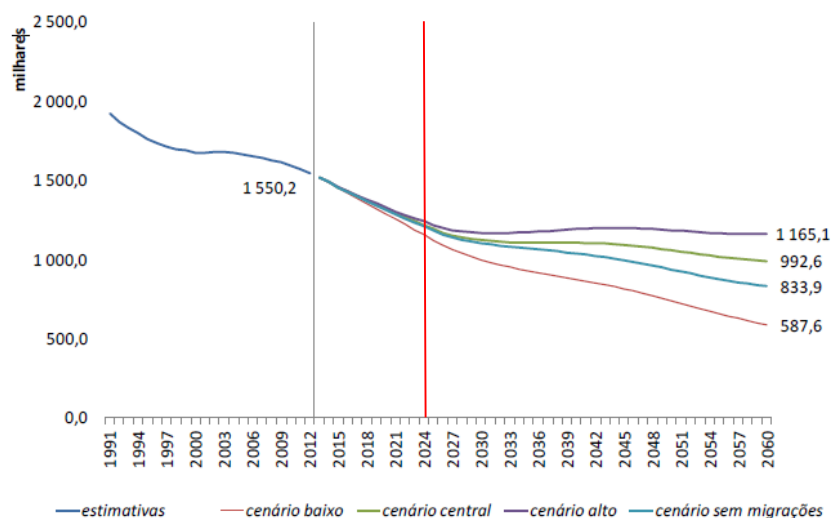


Figura 2.2 - População residente dos 0 aos 14 anos em Portugal, 1991-2060 [1]

2.3. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE ALUNOS

A lei n.º 85/2009 alterou o regime de escolaridade obrigatória, dos anteriores nove anos, cessando agora com a obtenção do diploma de curso conferente de nível secundário de habilitação ou independentemente da obtenção do diploma de qualquer ciclo ou nível de ensino, no momento do ano escolar em que o aluno perfaça 18 anos [2].

Esta lei estabelece, que todos os alunos que se matricularam, no ano letivo de 2009/10, no 7.º ano de escolaridade e anteriores ficam sujeitos às novas regras da escolaridade obrigatória. A disposição implica que apenas em 2014/2015 se generalize o alargamento da escolaridade obrigatória, ou seja os cinco anos necessários para que os alunos matriculados no 8.º ano de escolaridade, no ano letivo 2009/10, cumpram o 12.º ano de escolaridade, supondo um normal percurso escolar.

A previsão da população estudantil nos próximos anos, feita pelo DGEEC, assenta num modelo que conjuga a implementação gradual da escolaridade obrigatória, os nascimentos e fluxos migratórios e as taxas de transição e retenção nos diferentes anos de escolaridade e recorre apenas a dados históricos, sem avaliar o impacto de medidas de política educativa.

O 1.º ciclo do EB – Ensino Básico apresenta as maiores perdas em número de alunos de todos os ciclos, com cerca de 40000 alunos a menos em 2017/18 comparativamente ao ano letivo de 2011/12. Estas previsões fazem-se valer pela evolução do número de nados vivos entre 2000 e 2012 (Figura 2.3).

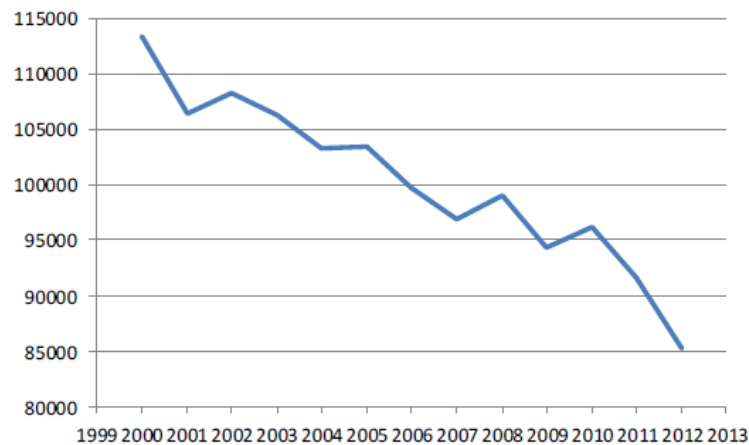


Figura 2.3 - Evolução do número de nados vivos em Portugal continental, 2000-2012 [2]

No 2º Ciclo do Ensino Básico (CEB) estima-se, acompanhando a tendência do 1º ciclo, um decréscimo de 15267 alunos no total do 5º e 6º ano.

No 3º CEB, é apontado um crescimento de 6000 alunos até 2015/2016, ano a partir do qual volta a decrescer atingindo um acréscimo de 2000 alunos relativamente ao ano base em 2017/2018. Estes dados são justificados principalmente pelo alargamento da escolaridade obrigatória.

Só a partir de 2014/2015 se verifica um crescimento, ainda que muito ténue, no número de alunos inscritos no Ensino Secundário (ES) regular, notando-se uma diminuição do número de matriculados até esse ano letivo no 12º ano de escolaridade, devido, principalmente, ao decrescente número de inscritos nos programas de Reconhecimento, Validação e Certificação de Competências – RVCC.

As modalidades de carácter vocacional, profissional ou tecnológico são tidas como essenciais na manutenção do número de alunos no sistema educativo e por isso o crescimento dá-se em todos os anos de escolaridade do ensino secundário ao longo de todos os anos de previsão – 2011/12 a 2017/18.

O alargamento da escolaridade obrigatória mostra efeitos apenas no 3º CEB e no Ensino Secundário, e neste último, parte do seu crescimento é ainda derivado à crescente adesão a ofertas alternativas ao ensino regular.

Em termos globais expectava-se em 2013, tendo em conta o alargamento da escolaridade obrigatória e os efeitos demográficos, um decréscimo de 40 mil alunos entre 2011/12 e 2017/18, mais acentuado a partir de 2015, revelando que o efeito do alargamento da escolaridade obrigatória teria um efeito atenuante na queda do número de alunos, no 3º CEB e Ensino Secundário, mas apenas a curto prazo, como demonstra a Tabela 2.1 e as Figuras 2.4 e 2.5.

Tabela 2.1 – Previsão do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório até ao ano letivo de 2017/18 em Portugal continental (adaptado de [2])

Ciclo	Ano letivo						
	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
1º EB	426315	418359	409208	404440	395772	391630	386089
2º EB	235398	232123	231191	226980	223877	220077	213994

3º EB	337361	370496	373193	375660	372071	368618	363868
ES regular	197625	195884	195880	196594	200839	201997	203125
ES outras	130980	132749	137242	139528	140222	141421	142712
Total 1º ciclo EB – ES	1327679	1349611	1346714	1343202	1332781	1323743	1309788
Total 2º ciclo EB – ES	901364	931252	937506	938762	937009	932113	923699

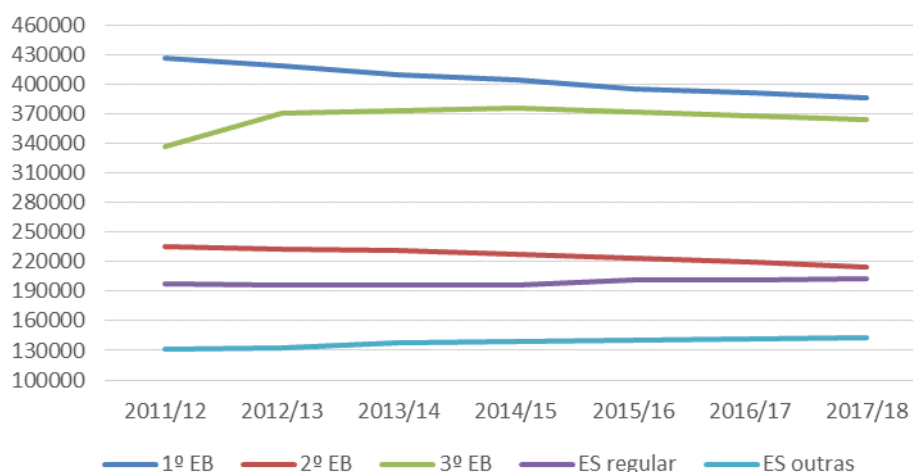


Figura 2.4 - Previsão da evolução do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório, até ao ano letivo de 2017/18, em Portugal continental (adaptado de [2])

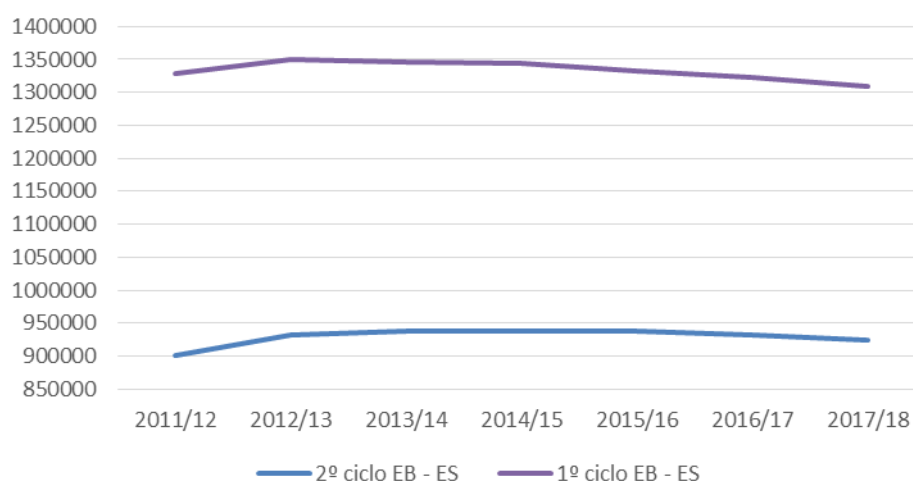


Figura 2.5 - Previsão da evolução do número de alunos total do 2º ciclo do EB ao ES e do 1º ciclo do EB ao ES, até ao ano letivo de 2017/18, em Portugal continental (adaptado de [2])

Os números dos 1º e 2º ciclos do EB são os mais relevantes nesta análise, os quais refletem o peso da evolução demográfica futura e indicam o número de alunos que os seguintes ciclos de ensino terão nos anos subsequentes. Para a totalidade de Portugal continental, apesar do saldo positivo do intervalo do 2º

ciclo do EB ao ES. O saldo negativo do intervalo do 1º ciclo do EB ao ES é a referência para o ano de 2023, ano em que todos os alunos inscritos no 1º ciclo do EB a 2018 atingirão o 2º ciclo do EB, supondo um percurso escolar normal. Estes dados indicam que um investimento em mais estabelecimentos escolares terá um efeito positivo apenas a curto prazo, e que num horizonte maior trarão encargos desnecessários e criarão um excedente de edificado no parque escolar.

Especificamente para a região Norte, a NUTS II, o cenário de decréscimo de alunos em todos os ciclos de ensino abrangidos pela escolaridade obrigatória, entre 2012 e 2018, é o indicado na Tabela 2.2, Figuras 2.6 e 2.7.

Tabela 2.2 - Previsão do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])

Ciclo	Ano letivo						
	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
1º EB	155293	153680	147849	144191	139694	136644	133835
2º EB	88271	90148	88432	85062	82239	79807	76599
3º EB	140847	145559	146397	146569	143562	140063	135658
ES regular	74769	76958	76964	77243	78904	79171	79179
ES outras	53511	52229	53923	54830	55096	55531	55919
Total 1º ciclo EB - ES	512691	518574	513565	507895	499495	491216	481190
Total 2º ciclo EB - ES	357398	364894	365716	363704	359801	354572	347355

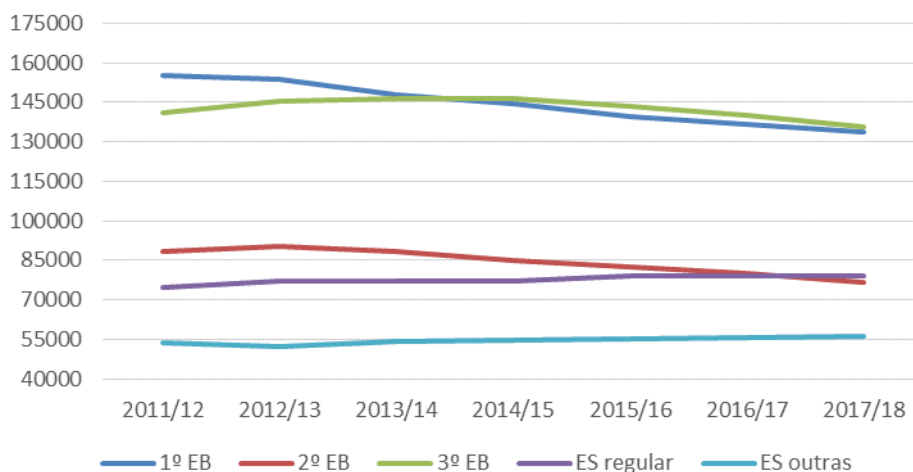


Figura 2.6 - Previsão da evolução do número de alunos por ciclos do ensino obrigatório, até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])

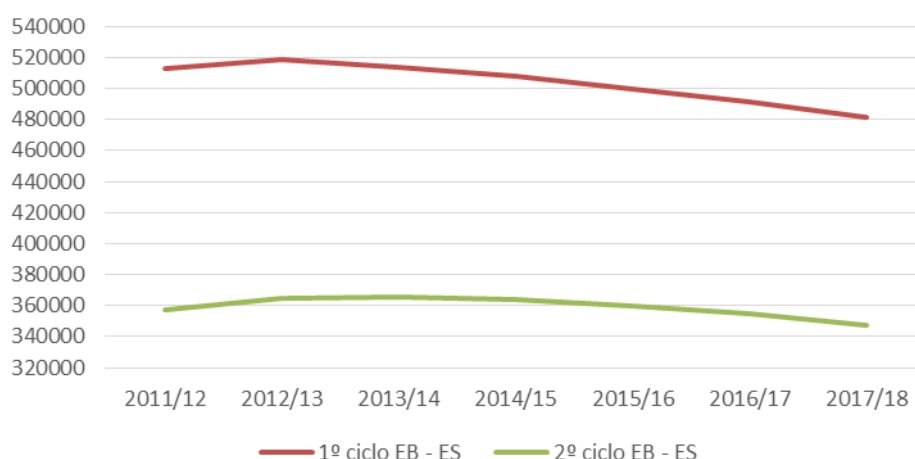


Figura 2.7 - Previsão da evolução do número de alunos total do 2º ciclo do EB ao ES e do 1º ciclo do EB ao ES, até ao ano letivo de 2017/18, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])

A variação do número de alunos inscritos nos diferentes ciclos de escolaridade obrigatória em Portugal continental e na região Norte em particular está exposta, resumidamente na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Variação prevista do número de alunos, nos diferentes ciclos de ensino obrigatórios, em Portugal continental e na região Norte, a NUTS II, entre 2012 e 2018

Δ 2012-18 [alunos]	Norte	Portugal continental
1º EB	-21458	-40226
2º EB	-11672	-21404
3º EB	-5189	26507
ES regular	4410	5500
ES outras	2408	11732
Total 1º ciclo EB - ES	-31501	-17891
Total 2º ciclo EB - ES	-10043	22335

Para a região Norte, os números são bem menos favoráveis que para Portugal continental no seu conjunto, com um decréscimo de cerca de 10000 alunos até 2018 entre o 2º CEB e o ES e um decréscimo de 31500 alunos quando ao conjunto se agrupa o 1º CEB.

2.3.1. NECESSIDADES FUTURAS DE ESTABELECIMENTOS ESCOLARES NA REGIÃO NORTE A NUTS II

Estes valores indicam que num futuro próximo existirá um excedente de recursos e/ou número de escolas, do 2º e 3º CEB e do ES, nesta região que se acentuará progressivamente, pelo que o encerramento ou a reestruturação destas será um aspeto a estudar no agora e a pôr em prática num futuro próximo.

Para o efeito fazem-se duas projeções de cenários possíveis, apenas para a região Norte, obtendo-se resultados em número de escolas excedentes. Importante reter que a unidade dos resultados é para efeitos de escala e compreensão, visto a redução das necessidades de recursos pela diminuição do número de alunos numa certa área territorial, pode não implicar diretamente o encerramento de escolas. Alguns fatores como, a distância casa-escola e as características únicas funcionais de cada estabelecimento, numa certa área, entre outras, terão de ser compatibilizados com os valores apresentados.

Outro aspeto, não menos premente, é o erro inserido pela análise conjunta de escolas EB 2,3 e escolas secundárias, já que a área média de construção das primeiras é, segundo a auditoria à Parque Escolar [3], inferior em 29% à das segundas.

A primeira projeção (2017/18) resulta do quociente entre os valores da variação do conjunto de estudantes entre o 2º ciclo do EB e do ES, inclusive, na região Norte, entre 2012 e 2018, e o número médio de alunos por escola de uma amostra de 32 do distrito do Porto, resultante de um estudo publicado em 2013 [4]. O número médio de estudantes por escola nesta amostra é de 678 alunos.

A segunda projeção (2022/23) resulta do quociente entre, os valores da variação do conjunto de estudantes entre o 1º ciclo do EB e do ES, inclusive, na região Norte, entre 2012 e 2018, e o número médio de alunos por escola, da amostra já referida.

Esta segunda projeção difere da primeira pela inclusão dos estudantes do 1º ciclo do EB e justifica-se por dois aspetos:

- Os estudantes do 1º ciclo do EB, em 2018, atingirão na sua totalidade o 2º ciclo do EB em 2022/23, supondo um percurso escolar normal, isto é, sem reprovações, sendo a data mais longínqua que, com os atuais dados, se pode estimar o número de alunos dos 2º e 3º ciclos do EB e ES futuros.
- O decréscimo da população entre os 0 e os 14 anos de idade, no intervalo temporal de 2012 e 2060, dá-se na sua grande maioria até 2025, pelo que grande parte da reestruturação da rede escolar do 2º e 3º ciclo do EB e do ES terá base demográfica justificativa nos intervalos temporais projetados.

A Tabela 2.4 sintetiza os resultados obtidos nas duas projeções.

Tabela 2.4 - Projeções do número de escolas a encerrar/reestruturar, a 2017/18 e 2022/23

Projeção	2017/18	2022/23
Nº escolas a encerrar/ reestuturar	15	46

Desta forma, das referidas projeções, resulta um número relevante de espaços escolares que poderão vir a ser encerrados ou reestruturados nesta região. Salienta-se o facto de alargando o período de previsão para 2022/23 o número de estabelecimentos aumenta significativamente. Em termos relativos, comparando com o total do parque escolar não intervencionado desta região, estas projeções indicam 5% de escolas a encerrar ou reestruturar em 2017/2018 e 14% em 2022/23.

2.3.2. LEVANTAMENTO ESCOLAR POR TIPOLOGIA NA REGIÃO NORTE A NUTS II

Foi feito um levantamento exaustivo das escolas públicas com 2º ou 3º ciclo do EB ou ES, ou ainda, uma combinação entre estes, na região Norte, a NUTS II. Este levantamento teve por base uma lista de escolas da DSRN – Direção de Serviços da Região Norte [5] e teve como objetivo o tomar de conhecimento do número de estabelecimentos escolares na região norte com determinadas características. Assim, desta lista foram filtradas as escolas que lecionam o 2º ou 3º ciclo do ensino básico ou ensino secundário e de modalidade pública. A estas foi acrescentada a tipologia construtiva

de cada escola do grupo filtrado, averiguada pelo autor, pela análise singular de cada estabelecimento no Google Maps. A algumas das escolas não foi possível atribuir uma tipologia construtiva pelo que essas se inserem na categoria de “outras”.

O conhecimento da tipologia construtiva de cada escola e a frequência associada a cada tipologia confere uma maior precisão das reais necessidades de reabilitação construtiva dos estabelecimentos, desta região. É possível observar os resultados deste trabalho na Figura 2.8, e ainda consultar o Anexo 1 para um maior detalhe de toda a informação recolhida.

Na região Norte, a NUTS II, estão presentes 394 escolas públicas em que se lecionam os ciclos referidos. Destas, estima-se que 323 escolas não foram intervencionadas, quer por pertencerem ao grupo da fase 3 ainda não intervencionado, ou à fase 4 do projeto da Parque Escolar, ou por não terem sido alvo de reabilitação recente por outros projetos, ou ainda por não serem objeto de construção recente, pós 2007.

Apesar de ter sido impossível obter informação de quais as 34 escolas da fase 3 de intervenção, da Parque Escolar, que não foram reabilitadas, através do rácio entre o número de alunos na região Norte e o total de alunos em Portugal, com dados de 2011/12, dos ciclos de escolaridade referidos anteriormente, foi feita uma estimativa do provável número destas escolas que estarão presentes na região em estudo. Esta estimativa é apresentada na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Estimativa do número de escolas por reabilitar pela Parque Escolar da fase 3 do plano, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])

Região	Alunos 2011/12	Rácio	Escolas por reabilitar fase 3
Portugal	901364	0,39	34
Norte	357398		13

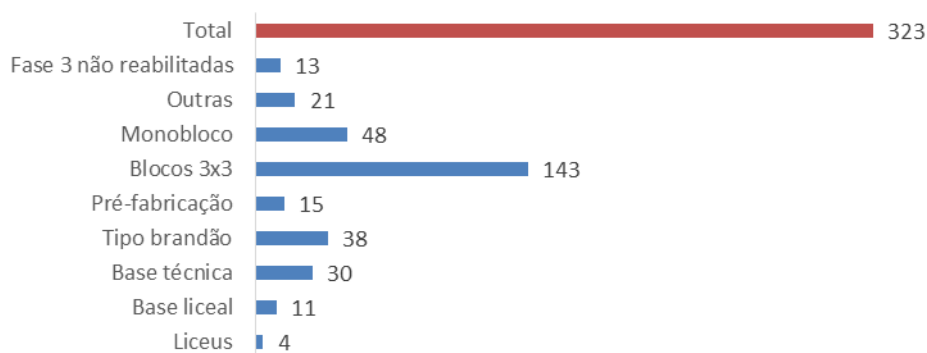


Figura 2.8 - Parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por tipologia construtiva, na região Norte, a NUTS II (adaptado de [2])

2.3.3. CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA REGIÃO NORTE A NUTS II

Das 323 escolas não intervencionadas, cerca de 46, pelas projeções apresentadas, deverão ser encerradas ou sofrer uma reestruturação, até 2022, de forma a não se sobre alocar recursos, pelo que restam aproximadamente 277 escolas, que serão necessárias e em que ainda não foi feita qualquer tipo de intervenção para a o conforto do ambiente interior.

Tendo em conta o custo unitário, por área de construção, envolvido nas intervenções da Parque Escolar de 840 €/m² segundo a empresa pública (877€/m² segundo a Inspeção Geral das Finanças [3]), e tendo em conta o custo unitário na reabilitação do edifício do Caso de Estudo, que segundo o responsável pelo

projeto, se situa nos 500 €/m², são abordados cenários de reabilitação de forma a comparar os custos iniciais globais associados a cada uma das intervenções reabilitativas. Para estes cenários foi considerada uma área média por escola de 5663 m², retirada do mesmo artigo publicado em 2013 [4], de uma amostra de 32 escolas do distrito do Porto, com datas de construção compreendidas entre 1950 e 2000. Os cenários de reabilitação são apresentados na Tabela 2.6. As diferenças entre custos iniciais de diferentes soluções é a indicada na Tabela 2.7 e Figura 2.9.

Tabela 2.6 - Cenários de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II

Cenários	Sem encerramentos – 323 escolas		Com encerramentos – 277 escolas	
Modelos	Parque Escolar	Caso de Estudo	Parque Escolar	Caso de Estudo
Custo unitário [€/m ²]	877	500	877	500
Custo total [M €]	1604	915	1376	784

Tabela 2.7 – Diferença entre custos iniciais entre diferentes cenários de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II

Caso	Sem encerramentos	Com encerramentos	Parque Escolar	Caso de Estudo
	Parque Escolar - Caso de Estudo	Parque Escolar - Caso de Estudo	Sem - Com encerramentos	Sem - Com encerramentos
Diferença entre custos iniciais [M €]	690	591	228	130
Diferença entre custos iniciais	43%	43%	14%	14%

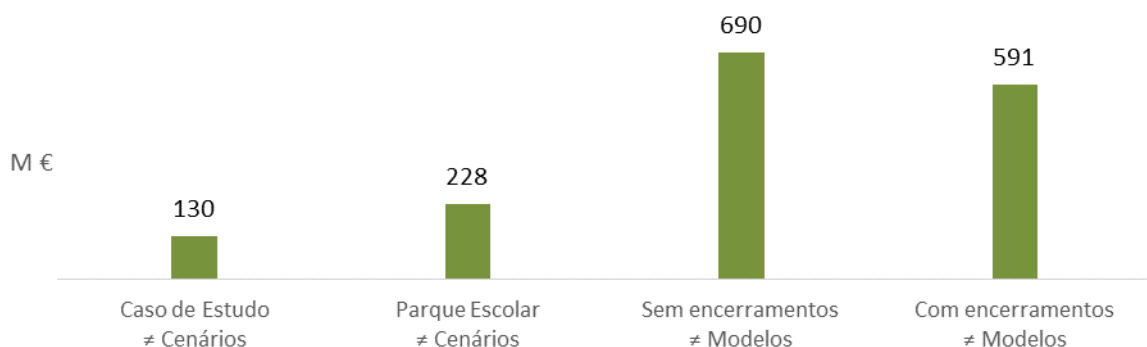


Figura 2.9 - Poupanças relativas, em custos iniciais, entre diferentes cenários e diferentes modelos de reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II

Como se pode verificar no total da intervenção apenas na região Norte a poupança inicial na reabilitação rondará os 690 M € entre o modelo da Parque Escolar e o modelo do Caso de Estudo, num cenário em que não se façam encerramentos, enquanto num cenário em que se faça uma gestão dos recursos edificados para o futuro a poupança entre os dois modelos é de 591 M €. Numa comparação entre cenários diferentes mas com o mesmo tipo de modelo, atingem-se variações de 130 M € e 228 M € no modelo do Caso de Estudo e da Parque Escolar, respetivamente.

2.4. INVESTIMENTO A 10 ANOS

Abordando a intenção de se optar pelo cenário que se afigura mais lógico tendo em conta a conjuntura económica e financeira de Portugal, ou seja, o cenário em que se efetuam os encerramentos necessários ao acompanhamento da evolução demográfica, e se utiliza um modelo similar ao utilizado na reabilitação do Caso de Estudo, propõe-se um plano de investimento a 10 anos.

Atendendo às fases de estudos, projetos e concursos faz-se um faseamento do financiamento nos primeiros dois anos, sendo um terço e dois terços do valor do financiamento dos anos intermédios, respetivamente. O mesmo foi feito nos dois últimos anos, tendo em conta a conclusão crescente do número de projetos médio em curso.

Tabela 2.8 - Distribuição do investimento decenal necessário, ao ano, à reabilitação do parque escolar não reabilitado, do 2º e 3º ciclo do EB e do ES, por, na região Norte, a NUTS II

Ano	Investimento [M €]
1	32,7
2	65,4
3	98,0
4	98,0
5	98,0
6	98,0
7	98,0
8	98,0
9	65,4
10	32,7

3

A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA EUROPA E EM PORTUGAL

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo, numa primeira fase, faz referência ao peso dos edifícios escolares na Europa e em Portugal e relata a sua importância como setor preponderante à reabilitação do parque edificado europeu. São explicitados desenvolvimentos e conclusões relevantes de programas de reabilitação de edifícios escolares, para a qualidade do ambiente interior e eficiência energética, na Europa. Em seguida é feita uma abordagem a normas internacionais para o conforto térmico e a qualidade do ar interior.

Segue-se a caracterização construtiva e térmica da envolvente exterior do parque escolar português, iniciando-se com as tipologias construtivas dos edifícios escolares em Portugal ao longo do tempo, passando-se depois à caracterização das soluções construtivas decorrentes das intervenções de reabilitação pela empresa pública Parque Escolar, e das soluções de reabilitação construtiva do corpo do Caso de Estudo. É feita uma comparação destas com os valores de referência da regulamentação atual, para valores de coeficientes de transmissão térmica e fatores solares de vãos.

Por fim, faz-se uma síntese dos valores calculados e analisam-se, criticamente, as variações e vantagens/desvantagens entre as diferentes soluções utilizadas em reabilitação.

3.2. PESO DOS EDIFÍCIOS ESCOLARES NA UNIÃO EUROPEIA E EM PORTUGAL

Na União Europeia os gastos públicos representam cerca de 17% do PIB da UE, e os edifícios públicos representam cerca de 12% de toda a área de construção. O setor público revela-se um setor preponderante e que deve ser pioneiro na reabilitação energética do parque edificado, do qual os edifícios escolares representam uma significativa fatia [6].

No conjunto da UE a 27, na Noruega e na Suíça, em 2011, os edifícios educacionais (escolas básicas, secundárias, universidades, laboratórios de pesquisa e pavilhões desportivos) representavam 17% da área de construção de edifícios não residenciais, e 4,25% da área de construção de todo o parque edificado. Estimava-se ainda num relatório da Building Performance Institute Europe – BPIE que aos edifícios escolares e para a educação correspondia 12% do total de energia primária consumida pelos edifícios não residenciais [7]. A Figura 3.1 ilustra a percentagem de área de construção associada a diferentes tipos de edifícios na União Europeia a 27, Noruega e Suíça, em 2011.

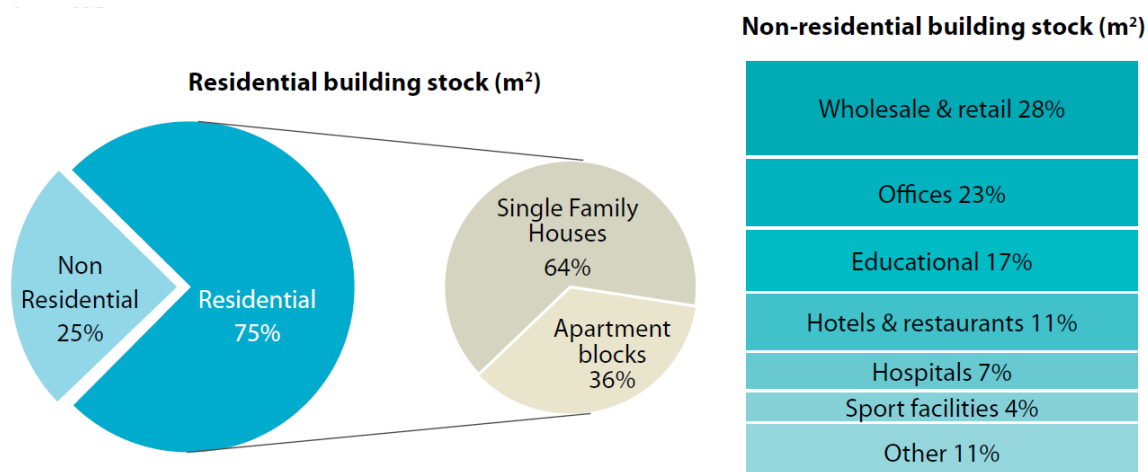


Figura 3.1 - Percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios na UE a 27, Noruega e Suíça em 2011 [7]

Em Portugal estima-se, em 2012, que dos 452M m² de área de construção existente, 19,7M m² correspondam a edifícios escolares ou para a educação, representando 4,36% do total de área de construção e 20,99% do total de área de construção dos edifícios não residenciais [8]. A Figura 3.2 sustenta estes valores.

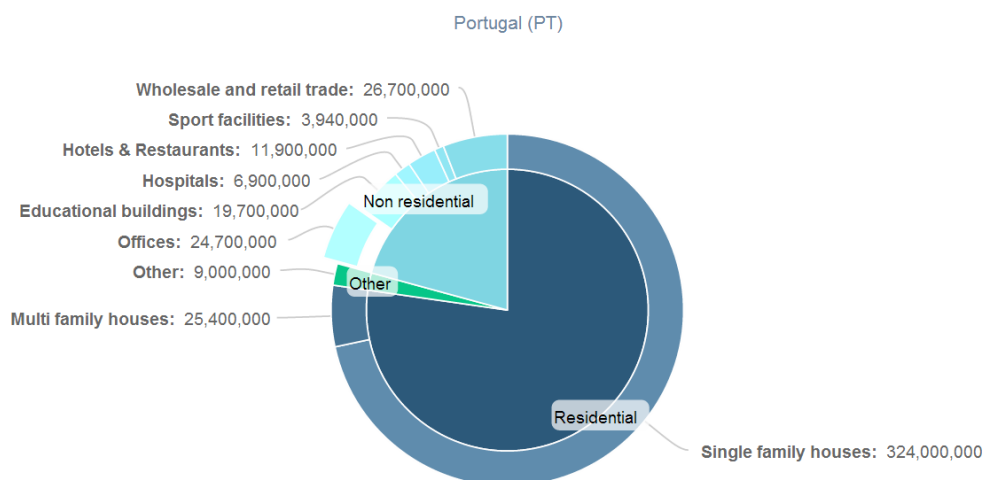


Figura 3.2 - Percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios em Portugal em 2012 [8]

Os 394 estabelecimentos escolares públicos que lecionam o 2º e 3º CEB e o ES, na região Norte a NUTS II, admitindo-se uma área média de construção de 5.663 m² por escola, representam cerca de 2,23 M m², ou seja, cerca de 11,3% de todos os edifícios educacionais portugueses, e 0,5% de toda a área construída em Portugal.

3.3. PROGRAMAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA EUROPA

Vários são os programas desenvolvidos para o estudo do conforto térmico e qualidade do ar interior (QAI) em ambiente escolar na Europa com conclusões pertinentes já tiradas e/ou com resultados e desenvolvimentos de relevância alcançados.

- O programa ZEMedS – Promoting Renovation of Schools In a Mediterranean Climate Up to Nearly Zero-Energy – com parceiros de Itália, Espanha, França e Grécia, decorreu de Junho a Dezembro de 2013 como incentivo e sensibilização à conversão de edifícios escolares para necessidades energéticas quase nulas pela adoção de ações exemplares por parte de entidades públicas, em países do sul da Europa. O projeto conclui, entre outros aspetos [9]:
 - A falta de conhecimentos e capacidade da indústria da construção a adaptar soluções de intervenção, de climas do norte da Europa, para climas mediterrânicos.
 - A falta de recursos financeiros e apoios governamentais dos países do sul da Europa, para acompanhar a tendência dos países do norte da Europa em combinar a alta eficiência energética e fontes de energia renovável, como padrão na construção e reabilitação de edifícios escolares.

De alguns dos resultados atingidos destacam-se, o desenvolvimento de ferramentas técnicas e financeiras-tipo para a reabilitação de escolas em climas mediterrânicos, para balanço energético quase zero e a consciencialização e transmissão de conhecimentos e experiências sobre o mesmo tema acerca de 5 mil decisores políticos e projetistas, para incentivo à adoção de estratégias eficazes em projetos futuros.

- O projeto School Vent Cool – Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations – decorreu entre 2010 e 2013, procurou estratégias de reabilitação da envolvente para a eficiência energética aliada ao conforto térmico e elevada qualidade do ar interior, em escolas. Contou com 31 colaboradores em 16 países europeus, entre eles, Áustria, Suíça, Bélgica, Alemanha e Dinamarca [10].

No seu relatório internacional, o consórcio conclui que:

- As grandes intervenções na envolvente para melhoria da qualidade do ambiente interior, associadas sempre a um prisma de eficiência energética, apesar das poupanças operacionais, em termos financeiros, apenas justificam o investimento inicial numa perspetiva de longo prazo (20 a 50 anos de período de retorno);
- A medição das temperaturas interiores em escolas austríacas recentemente reabilitadas para a eficiência energética demonstra que, mesmo no Inverno, estas se encontram acima dos valores expectáveis, e que no Verão as temperaturas são em média 15% mais altas que o previsto;
- Acima do previsto fica também o consumo de eletricidade nestas escolas, em grande parte influenciado por um uso mais prolongado e intensivo dos sistemas de arrefecimento. Estimaram-se em 15 o número de escolas envolvidas no projeto com risco de sobreaquecimento e acrescidas necessidades de arrefecimento;
- Cálculos e simulações para cenários de sobreaquecimento permitiu chegar-se a três parâmetros chave para controlo da carga térmica: ganhos internos (computadores, pessoas, iluminação); uso de sistemas de sombreamento; e estratégias de ventilação (ventilação noturna, etc.);
- O uso de sistemas de sombreamento de controlo manual tem um efeito reconfortante muito superior nos ocupantes ao sombreamento automatizado, devido à influência que o utilizador

pode conferir ao sistema para expectativas divergentes em períodos diferentes, em condições ambientais iguais;

- Em climas temperados mediterrânicos, a ventilação mista tem resultados muito próximos dos da ventilação mecânica. A Figura 3.3 apresenta alguns desses resultados.

- A abertura de janelas só por si não permite criar as condições adequadas de QAI.

- A monitorização em tempo real das concentrações de dióxido de carbono (CO_2) é uma prática a considerar, principalmente em edifícios escolares com ventilação natural em ambientes não urbanos, para que se possa, em situações em que estas ultrapassem determinado valor estipulado, recorrer à abertura pontual de janelas para um incremento de ventilação natural na ventilação total e assim baixar as concentrações de CO_2 .

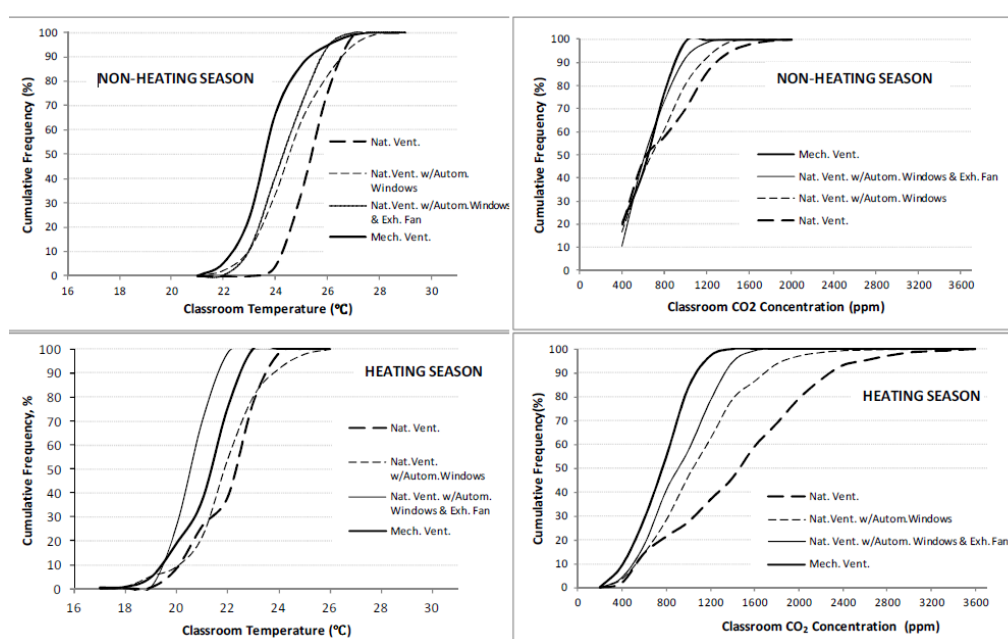


Figura 3.3 - Frequências acumuladas de temperaturas e concentrações de CO_2 durante estação de aquecimento e arrefecimento em salas de aula com diferentes tipos de ventilação [10]

- O School of the Future: Towards Zero Emission with High Performance Indoor Environment, orientado pelo Fraunhofer – IBP, conta com parceiros na Dinamarca, Itália, Alemanha e Noruega e decorre de 2011 a 2015. O projeto tem como principal objetivo reabilitar escolas para a eficiência energética sem descurar a importância de um ambiente interior saudável. Pretende-se que o projeto indique o potencial viável de poupança energética de edifícios escolares, que permita criar novas diretrizes e ferramentas para aplicação de metodologias e soluções tipo para a eficiência energética e QAI em edifícios escolares e sensibilizar os utilizadores e comunidades para a importância das temáticas [11].

No relatório da fase de projeto duas conclusões importantes são tiradas:

- Os inquéritos prévios aos ocupantes dos espaços são uma boa ferramenta para se ter uma visão geral da QAI e do conforto térmico interior e um primeiro indicativo na estimativa de medidas necessárias para a correção das deficiências dos espaços;

Tabela 3.1 - Principais conclusões e recomendações de alguns projetos de reabilitação de edifícios escolares em climas do sul da Europa (adaptado de [9], [10], [11] e [12])

Projeto	Conclusões	Recomendações
ZEMedS	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacidade de adaptação de soluções do norte para o sul da Europa - Falta de apoios governamentais em países do sul da Europa 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de ferramentas técnicas e financeiras modelo para climas mediterrânicos - Incentivo ao envolvimento de decisores políticos
SchoolVentCool	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes intervenções só têm retorno a longo prazo, mais de 20 anos - Sobreaquecimentos substanciais em escolas austríacas reabilitadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Reabilitar com soluções duráveis e com reduzidos custos operacionais - Maior atenção aos sistemas de sombreamento e estratégias de ventilação
School of the Future	<ul style="list-style-type: none"> - Em latitudes italianas o forte isolamento da envolvente resulta em sobreaquecimentos frequentes - Inquéritos prévios à reabilitação são importantes na estimativa das medidas necessárias 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior atenção aos sistemas de sombreamento e estratégias de ventilação - Inquéritos devem ser tidos em conta no dimensionamento de soluções de reabilitação
Teenergy Schools	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de bons exemplos e referências para a eficiência energética em escolas do sul da Europa 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de uma base de dados e benchmark energético de escolas reabilitadas em climas mediterrânicos

Como se verifica, a reabilitação de edifícios escolares toma contornos um pouco diferentes da reabilitação de outros tipos de imóveis, devido a algumas das suas características particulares e respetivos efeitos no ambiente interior. Alguns dos aspetos cujos efeitos não devem deixar de ser tidos em conta são [13]:

- Elevadas taxas de ocupação implicam ganhos térmicos internos muito significativos;
- Elevadas taxas de ocupação implicam requisitos mais exigentes de ventilação e consequente qualidade do ar interior;
- Para melhorar as condições de iluminação natural das salas de aula as fachadas apresentam uma elevada área de envidraçados (frequentemente acima dos 50%), implicando um aumento significativo do peso da parcela relativa aos envidraçados no balanço térmico do edifício;
- O sombreamento assume particular importância devido às elevadas cargas térmicas geradas pela área envidraçada (ganhos solares).

3.4. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

O conceito de qualidade do ambiente interior implica o conforto térmico, a qualidade do ar interior, o conforto acústico e o conforto visual de um espaço. Estes aspetos estão dependentes de vários fatores e podem ter como fontes o edifício em si, as condições exteriores, os serviços no edifício e as atividades humanas que nele se verifiquem [14].

Apenas o conforto térmico e a qualidade do ar interior são interessantes de discutir e aprofundar no âmbito do estudo do desempenho higrotérmico na presente dissertação.

3.4.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é definido como o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação relativamente ao ambiente térmico [15].

O conforto térmico está estritamente relacionado com a neutralidade térmica do organismo. A compensação do calor gerado pelo metabolismo é feita pelo sistema de termorregulação, por transferências de calor por evaporação, convecção, condução e radiação, assegurando a homeostasia do corpo humano. À alteração de qualquer dos fatores que afetem o equilíbrio, o sistema compensará de forma a equilibrá-lo de novo para balanço nulo [14].

Segundo Fanger, seis fatores definem diretamente as condições para a obtenção de conforto térmico neste contexto [13]:

- Taxa metabólica – depende da atividade física, género, idade e peso de um indivíduo. Crianças e jovens têm taxas metabólicas mais elevadas que a restante população, bem como o têm pessoas mais pesadas, os homens relativamente às mulheres e a uma maior atividade física está associada uma taxa metabólica superior.

- Vestuário – confere resistência térmica entre o corpo e a envolvente e por conseguinte a uma maior resistência térmica deste está associada uma menor transferência de calor entre o corpo e o ambiente em que se encontra.

- Temperatura do ar.

- Temperatura radiante – temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação com o meio que no espaço real não uniforme.

- Velocidade do ar – habitualmente inferior a 1 m/s em ambientes interiores, tem peso nas transferências por evaporação.

- Pressão parcial de vapor de água – corresponde à pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse sozinho todo o volume ocupado pelo ar húmido à mesma temperatura.

Tanto a ASHRAE 55 como a ISO/EN 7730 baseiam-se em modelos de conforto térmico estacionários, admitindo uma resposta fisiológica e psicológica uniforme ao longo de todo o ano, e que as diferentes preferências de temperaturas ao longo deste, pelo indivíduo, se devem à mudança de vestuário e respetiva resistência que vai fazendo ao longo das estações [16].

3.4.2. PARÂMETROS DE CONFORTO

Para ambientes com atividades dos ocupantes maioritariamente sedentárias, para uma previsão de 90% de aceitação da sensação térmica e restantes parâmetros dentro dos limites impostos, a ISO 7730 recomenda o seguinte intervalo de temperaturas operativas, para Inverno e Verão (Tabela 3.2) [17].

Tabela 3.2 - Intervalo de temperaturas operativas recomendadas com uma previsão de conforto térmico para 90% dos ocupantes segundo a ISO/EN 7730 (adaptado de [16])

Estação	Vestuário (clo)	Metabolismo (met)	Intervalo temperaturas operativas (°C)
Inverno	1,0	1,2	20 – 24
Verão	0,5	1,2	23 - 26

Já a norma ASHRAE 55, para o mesmo tipo de atividade, com valores de humidade relativa de 50% e velocidades do ar inferiores a 0,15 m/s, indica o seguinte intervalo de temperaturas operativas (Tabela 3.3) [15].

Tabela 3.3 - Intervalo de temperaturas operativas recomendadas com uma previsão de conforto térmico para 90% dos ocupantes segundo a ASHRAE 55 (adaptado de [16])

Estação	Vestuário (clo)	Metabolismo (met)	Intervalo temperaturas operativas (°C)
Inverno	0,9	1,2	20 – 23,5
Verão	0,5	1,2	23 - 26

Em determinadas circunstâncias, como as existentes no interior das salas de aula, a temperatura do ar pode ser usada como uma boa aproximação à temperatura operativa [13].

3.4.3. QUALIDADE DO AR INTERIOR

Uma Qualidade do Ar Interior (QAI) aceitável é definida como ar onde não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, de acordo com o determinado pelas autoridades reconhecidas e onde a maioria (80% ou mais) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação [18].

Os efeitos de uma má QAI exemplificam-se, entre outros, por irritação das mucosas e de elementos do sistema respiratório superior (maior incidência de infeções), fadiga, tonturas e dores de cabeça, que se revelam amplificados no caso de pessoas com, ou com tendência para, asma e alergias [14].

Vários são os contaminantes que afetam a qualidade do ar interior, entre os contaminantes exteriores estes podem ter origem principalmente nas indústrias, no tráfico rodoviário e na vegetação, já os contaminantes interiores contam com bioefluentes, dióxido e monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, ozono, radão e contaminantes biológicos. Devido às elevadas taxas de ocupação dos espaços em ambiente escolar, o CO₂ (produto da respiração humana) tem uma relevância acrescida de entre todos os contaminantes na avaliação da QAI nestes meios [14].

A temática do conforto global nos locais de trabalho e pessoais, e a sua importância crescente resultou na realização de vários e variados estudos neste campo. Estudos sobre a qualidade do ambiente interior em escolas provaram que o desempenho, produtividade, bem-estar e conforto dos seus ocupantes estão

dependentes de uma boa qualidade do ambiente interior. Várias conclusões relevantes se podem retirar de alguns dos estudos realizados nos últimos anos [14].

- Patologias associadas ao sistema respiratório estão significativamente relacionadas com a má qualidade do ar interior e um conforto térmico insuficiente.
- O rendimento escolar aumenta com maiores caudais de ventilação, e por isso concentrações de CO₂ menores, numa correlação logarítmica.
- A produtividade reduz-se acentuadamente para temperaturas acima de 25°C, decaindo com o progressivo aumento da temperatura.

Estas, entre outras razões, estão na base das legislações internacionais e europeias, Portugal incluído, limitarem a concentração de CO₂ em edifícios. O valor limite usado não cumpre em todas elas a mesma regra, pelo que se usam para a sua parametrização: valores de pico (máximo admissível), valores de concentração máxima permitida (valores médios máximos em intervalos de 8 horas) ou valores de concentração interior aceitável (valor médio anual) [14].

3.5. EDIFÍCIOS ESCOLARES EM PORTUGAL

3.5.1. TIPOLOGIAS E HISTÓRIA

Os primeiros liceus em Portugal começam a ser pensados em 1836 por movimentos liberais, com intenção de substituir o ensino humanista, praticado nos colégios religiosos, pelo ensino científico. Muitos destes liceus ficaram instalados em colégios e conventos depois da extinção das ordens religiosas que os ocupavam [19].

Perfazendo um conjunto de doze até 1935, a este conjunto de edifícios está associada uma elevada carga patrimonial e simbólica, alternando de edifícios compactos com pátios centrais para edifícios extensos. São comuns nestes edifícios o betão armado, uma progressiva inovação por integração de estruturas metálicas e sistemas construtivos mistos de paredes autoportantes combinadas com estruturas porticada, lajes de betão armado, coberturas em terraço e grandes áreas de vãos envidraçados [20]. A Figura 3.5 é exemplo de um liceu histórico.



Figura 3.5 - Liceu Rodrigues de Freitas, Porto [21]

Esta corrente dura até inícios do Estado Novo, altura em que a visão da educação sofre uma inversão significativa. O Ministério das Obras Públicas através da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário – JCETS-MOP construiu 94 escolas entre 1936 e 1968 para ensino secundário, na altura liceal e técnico. As escolas industriais e comerciais surgem no pós Segunda Grande Guerra, de forma a acompanhar e incentivar o desenvolvimento industrial crescente [19].

Os edifícios desta altura apresentam grande uniformidade construtiva devido às estratégias de normalização nos projetos de arquitetura e nos processos construtivos. Existe um retorno às coberturas inclinadas e utilização de menores áreas de envidraçados nas fachadas, pelo menos até finais da década de 50, a partir da qual as áreas de envidraçados de grandes dimensões voltam a estar presentes. Caracterizados por um corpo principal e um ou mais corpos auxiliares, correntemente até três pisos existe uma utilização predominante de tecnologias de construção mistas, baseadas em paredes resistentes de alvenaria de pedra rebocada, com lajes de piso e escadas de betão armado assentes nelas. São frequentes coberturas inclinadas em forma de shed revestidas com chapas onduladas de fibrocimento nos edifícios auxiliares. Revestimentos na sua maioria de madeira nos pisos das salas de aula e mosaico hidráulico nos corredores e instalações sanitárias. Nas paredes é aplicada massa de areia ou estuque e as caixilharias são em madeira ou em elementos pré-fabricados de betão armado. [20]. A Figura 3.6 mostra um liceu desta época.



Figura 3.6 - Liceu Martins Sarmiento, Guimarães [21]

O aumento da população escolar no fim da década de 50 e a adesão de Portugal à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico – OCDE resultou na necessidade de expansão do parque escolar e criação de novos projetos-tipo corrigindo os erros e menos-valias dos anteriores. A partir de 1969 todas as construções escolares ficaram a cargo da Direção-Geral das Construções Escolares. Em 1986 o Ministério da Educação confere as responsabilidades às Direções Regionais Executivas. Deste grupo, de 1969 ao presente, resultam aproximadamente 356 escolas para o ensino secundário, cerca de 77% de todos os edifícios escolares para o ensino secundário construídos em Portugal [19].

Os projetos das escolas de base técnica e liceal remontam ao final da década de 60, e orientam-se em soluções de elevada rapidez e economia de execução. Este tipo de escolas caracterizam-se por se organizarem em conjuntos de blocos independentes, estrutura pavilhonar, com capacidade de adaptação à topografia e geologia do terreno de implantação, com ligações cobertas entre si. Estes dois tipos diferenciam-se principalmente nos pátios centrais em que nas de base liceal é a descoberto, e nas de base técnica é coberto. Também os blocos das de base técnica têm em média mais um piso que os blocos das de base liceal. Outro projeto é desenvolvida nesta época, a “tipo brandão” apresentando um bloco administrativo e de serviços com piso e meio e blocos de aulas com um piso de planta quadrangular e pátio central descoberto [22]. Exemplos destas tipologias estão identificados na Figura 3.7.



Figura 3.7 - Da esquerda para a direita: Base Liceal; Base Técnica; Tipo Brandão [13]

Já na década de 80, surge o projeto de “3x3”, constituído por blocos, de dimensão variável, planta quadrangular e comumente dois pisos com uma grande capacidade de adaptação a variadas condições do terreno, desconhecidas a priori. Por razões tecnológicas, na década de 90 surge a variante de projeto monobloco. Em termos construtivos, recorrem-se a sistemas de construção industrializada, incorporando-se um elevado grau de pré-fabricação. Existem variações entre edifícios modelares de estrutura porticada de betão armado com lajes de betão armado maciças, soluções prefabricadas, e estruturas de pilares e lajes fungiformes alveolares- De comum referem-se as paredes preenchidas por panos de alvenaria de tijolo rebocados e pintados com os elementos de betão aparentes. As coberturas são planas, não visitáveis ou inclinadas com lanternim revestidas a placas de fibrocimento. Os vãos apresentam caixilharias de madeira ou de alumínio [20]. Exemplos destas tipologias estão identificados na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Da esquerda para a direita: Tipo Blocos 3x3; Tipo Monobloco [13]

Os modelos de escola tipo brandão, blocos 3x3 e monobloco, generalizaram-se para escolas EB 2,3 não sendo exclusivas do ensino secundário, pelo que o parque escolar do ensino básico do 2º e 3º ciclo é na sua maioria constituído por escolas desta tipologia [20].

3.5.2. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DA ENVOLVENTE EXTERIOR DO PARQUE ESCOLAR EDIFICADO

À semelhança da caracterização de soluções construtivas e levantamento de características higratérmicas das mesmas, feita nos distritos de Setúbal, Évora e Beja na década de 80 [23], mas com um levantamento de informação menos pormenorizada e profundidade de estudo consideravelmente menor, é apresentada em seguida, uma caracterização construtiva da envolvente exterior de cada tipologia de edifício escolar tendo em atenção que esta apenas se foca na constituição de edifícios ou blocos onde existam salas de aula ou espaços com elevada taxa de ocupação por períodos relativamente longos. Apesar de se poderem encontrar muitas variantes em cada uma das tipologias devido aos avanços tecnológicos e mesmo às datas de construção, a caracterização proposta considera as características mais representativas no parque escolar edificado, por tipologia e época. As Tabelas 3.4 e 3.5 compilam esta caracterização.

Tabela 3.4 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de liceus históricos, liceus e escolas industriais e/ou comerciais (adaptado de [20] [24] e [25])

Elemento envolvente	Caracterização	U (W/m ² .°C)	g \perp (-)
Coberturas	1 - Cobertura inclinada, revestimento em telha cerâmica, estrutura em madeira e betão, laje esteira (20cm)		
	2 - Cobertura em shed, revestimento em chapa de fibrocimento (blocos de oficinas) , laje esteira (12cm)	1 – 3,6	
	- Desvão não útil ventilado	2 – 3,4	
	3 - Cobertura horizontal, impermeabilização em tela asfáltica autoprotégida, laje de betão (15cm), camada de forma (10 cm)	3 – 1,6	
	- Sem isolamento térmico		
Paredes exteriores	1 - Paredes portantes de alvenaria de pedra (60cm)	1 – 2,5	
	2 - Alvenaria tijolo industrial (22cm)	2 – 1,4	
	3 - Betão à vista pintado (25cm)	3 – 3,1	
	4 - Alvenaria dupla de tijolo furado (11 + 11cm) com caixa-de-ar e reboco pintado	4 – 1,1	
	- Sem isolamento térmico		
Vãos envidraçados	1 - Caixilharias de madeira		
	2 - Caixilharias de betão		
	- Sem corte térmico	1 – 5,1	0,87
	- Sistema de batente	2 – 5,1	0,40 (100% sombreamento)
	- Vidro simples		
	- Portadas de madeira interiores		
	- Estores de lâminas interior cor clara		

Tabela 3.5 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de escolas tipo brandão, tipo blocos 3x3 e tipo monobloco (adaptado de [20], [26], [27], [28], [29], [30] e [31])

Elemento envolvente	Caracterização	U (W/m ² .°C)	g \perp (-)
Coberturas	1 - Cobertura inclinada, revestimento em chapa de fibrocimento ou metálicas, laje esteira (20cm)		
	- Desvão não útil ventilado	1 – 3,4	
	2 - Cobertura horizontal, impermeabilização em tela asfáltica autoprotégida, laje de betão (15cm), camada de forma (10 cm)	2 – 1,6	
	- Sem isolamento térmico		
Paredes exteriores	1 - Pano simples de betão pintado (20cm)		
	2 - Alvenaria simples (13cm) de tijolo maciço à vista	1 – 3,6	
	3 - Alvenaria simples (15cm) de tijolo furado com reboco pintado	2 – 2,1	
	4 - Alvenaria dupla de tijolo (11 + 11cm) com caixa-de-ar, com reboco pintado	3 – 1,7	
	- Sem isolamento térmico	4 – 1,1	
Vãos envidraçados	- Caixilharias de alumínio		
	- Sem corte térmico		0,87
	1 - Sistema basculante	1 – 6,0	3 – 0,45 (100% sombreamento)
	2 - Sistema de correr	2 – 6,5	
	- Vidro simples		4 – 0,07 (100% sombreamento)
	3 - Persianas interiores (pontual)		
	4 - Persiana plástica exterior cor clara		

3.5.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DA EMPRESA PARQUE ESCOLAR PARA A ENVOLVENTE EXTERIOR

Em seguida apresenta-se uma síntese da caracterização da envolvente exterior, dos coeficientes de transmissão térmica e dos fatores solares das soluções construtivas tipo, utilizadas pela empresa Parque Escolar para a envolvente exterior dos edifícios escolares reabilitados, sob a sua orientação, até à atualidade (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior de escolas reabilitadas pela Parque Escolar (adaptado de [32] e [33])

Elemento envolvente	Caracterização	U (W/m ² .°C)	g \pm (-)
Coberturas	1 - Cobertura inclinada, revestimento em telha cerâmica, isolamento sobre laje de esteira	1 – 0,31	
	2- Cobertura inclinada, revestimento em telha cerâmica, isolamento sobre laje inclinada	2 – 0,42 3 – [0,26 – 0,35]	
	3 - Cobertura horizontal, com isolamento térmico, com revestimentos diversos		
Paredes exteriores	1 – Parede existente associada a uma forra interior que resulta de uma combinação de dois ou mais dos seguintes componentes: isolamento térmico, gesso cartonado, caixa de ar, pano de alvenaria em tijolo furado	1 – [0,69 – 0,47] 2 – 0,73	
	2 - Parede existente revestida com sistema ETICS pelo exterior	3 – 0,45	
	3 – Parede dupla (20 + 11cm) com isolamento térmico na caixa de ar		
	- Caixilharias de alumínio		
Vãos envidraçados	- Sem corte térmico		0,52
	- Sistema basculante, batente e fixo	3,4	0,26 (100% sombreamento)
	- Vidro duplo, um deles de baixa emissividade		
	- Estores interiores de rolo opacos		

No seu planeamento da reabilitação do parque escolar edificado, a Parque Escolar previu o cumprimento de requisitos do RSECE, RCCTE indiretamente e do SCE.

A diferentes zonas climáticas correspondem diferentes exigências de coeficientes de transmissão térmica. O revogado RCCTE indicava coeficientes de transmissão térmica de referência – U_{ref}, e fatores solares de referência – g_{ref} para as diferentes zonas climáticas, os quais foram transpostos para o atual RECS. As Tabelas 3.7 e 3.8 apresentam estes valores.

Tabela 3.7- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados para edifícios de comércio e serviços (adaptado de [34])

U_{ref} [W/(m ² .°C)]	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontais exteriores	0,50	0,45	0,40
Vãos envidraçados exteriores	4,30	3,30	3,30

Tabela 3.8 - Fator solar dos vãos envidraçados de referência para edifícios de comércio e serviços (adaptado de [34])

$g_{\perp ref}$ (-)	Zona climática		
	V1	V2	V3
Vão envidraçado (com dispositivos de sombreamento ativados a 100%)	0,25	0,20	0,15

Além destes, outros aspetos são tidos como essenciais para a qualidade térmica da envolvente, tais como a eliminação do risco de ocorrência de condensações e o tratamento de pontes térmicas planas. Em termos regulamentares essas exigências são materializadas através dos seguintes critérios: o U_{PTP} – ponte térmica plana – tem de ser menor que o $U_{máx}$ tabelado, menor que duas vezes o $U_{zona\ corrente}$, e dispensa as disposições anteriores se for igual ou inferior a 0,9 W/(m².°C).

A análise de algumas das intervenções da Parque Escolar revelam que em termos de coeficientes de transmissão térmica existe uma melhoria substancial relativamente às soluções existentes, indo mesmo ao encontro dos valores de referência do regulamento atual ou ainda superando-os.

3.5.4. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E TÉRMICA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DA ENVOLVENTE EXTERIOR DO CASO DE ESTUDO

Em seguida é apresentado o quadro síntese para os mesmos dados correspondentes à reabilitação construtiva do Caso de Estudo apresentado no capítulo 4 (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 - Caracterização construtiva e térmica representativa da envolvente exterior reabilitada do Caso de Estudo (adaptado de [35])

Elemento envolvente	Caracterização	U (W/m ² .°C)	g ±(-)
Coberturas	Gesso cartonado, lã mineral (5cm), desvão não ventilado, painel sanduíche (10cm)	0,24	
Paredes exteriores	Parede dupla de tijolo furado (15 + 15cm), com caixa de ar sem isolamento térmico, rebocada em ambas as faces	0,86	
Vãos envidraçados	Sistema basculante, batente e fixo, vidro duplo, ambos os panos de baixa emissividade, sem corte térmico, estores exteriores de lâminas metálicas cinza claro 1 – Caixilharia de alumínio 2 – Caixilharia de madeira	1 – 3,2 2 – 2,7	0,40 0,05 (100% sombreamento)

Também os elementos da envolvente exterior do Caso de Estudo cumprem, com exceção das paredes exteriores, os requisitos regulamentares do RECS para todas as zonas climáticas.

3.6. ANÁLISE CRÍTICA

Depois de exposta uma caracterização estimada do edificado original para a educação, das intervenções da PE neste e o modelo do Caso de Estudo, vale a pena sintetizar os valores apresentados para coeficientes de transmissão térmica e fatores solares dos vãos envidraçados (Figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12)

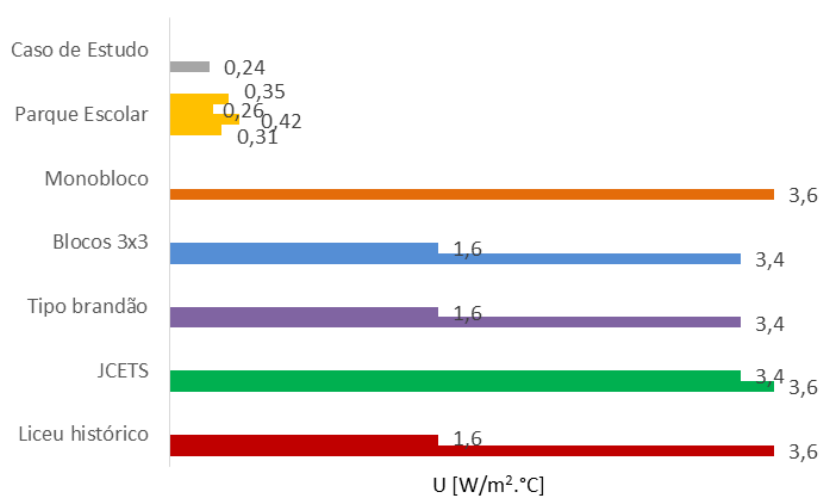


Figura 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de coberturas por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo

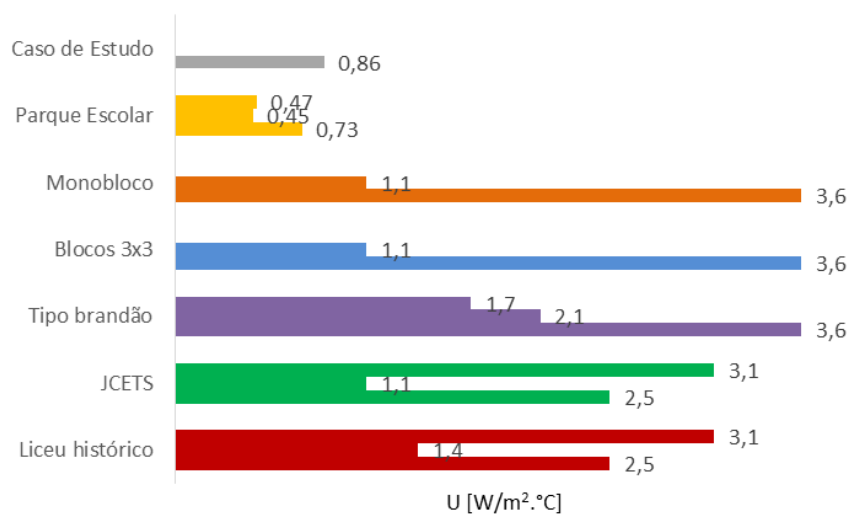


Figura 3.10 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de paredes exteriores por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo

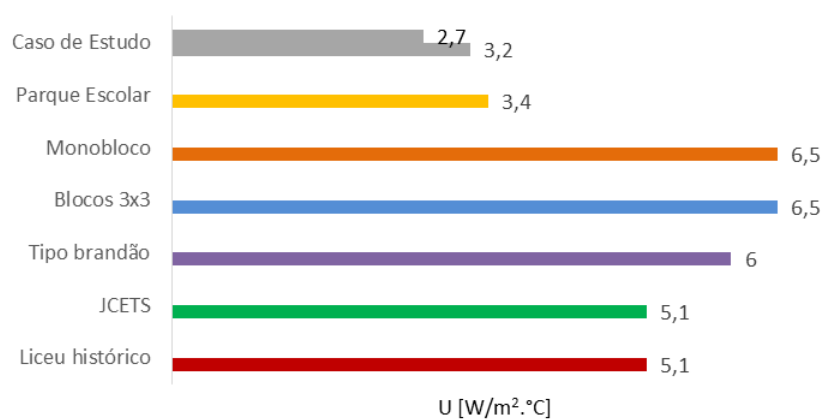


Figura 3.11 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas de vãos exteriores por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo

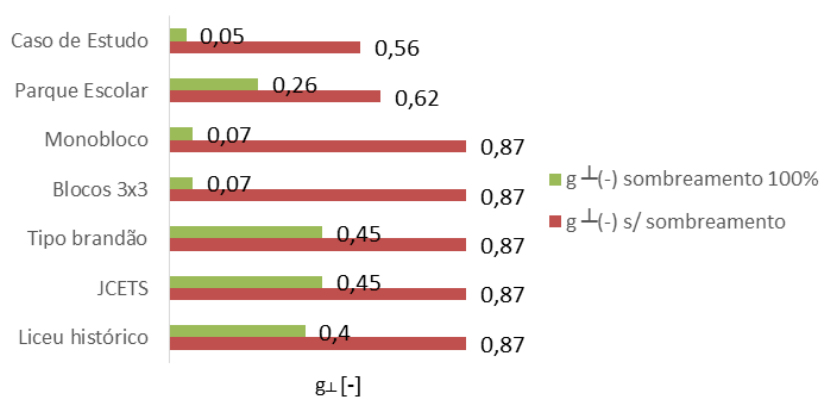


Figura 3.12 - Fatores solares dos vãos envidraçados por tipo de escola e intervenção reabilitativa em estudo

Segue-se para interpretação, uma compilação dos valores médios de coeficientes de transmissão térmica e fatores solares das diferentes soluções, em diferentes momentos: nos edifícios originais, nos edifícios reabilitados pela Parque Escolar e no edifício do Caso de Estudo (Figura 3.13). De salientar que as médias não são ponderadas em relação a áreas de qualquer amostra, e que certos valores considerados para o cálculo estarão mais presentes no parque edificado que outros, pelo que na leitura da informação deverá ser tida em conta esta condicionante.

	Originais	Parque Escolar	Caso de Estudo
U - Coberturas	2,9	0,3	0,2
U - Paredes exteriores	2,3	0,6	0,9
U - Vãos exteriores	5,8	3,4	3,0
g \perp sem sombreamento	0,87	0,62	0,56
g \perp 100% sombreamento	0,29	0,26	0,05

Figura 3.13 - Valores médios de coeficientes de transmissão térmica e fatores solares das soluções construtivas originais e das soluções construtivas das intervenções tipo de reabilitação da Parque Escolar e do Caso de Estudo

Verifica-se, em comparação com as soluções de reabilitação utilizadas pela Parque Escolar, que as soluções de cobertura e de vãos envidraçados do Caso de Estudo são mais interessantes do ponto de vista térmico, enquanto as soluções da envolvente opaca exterior mostram-se menos favoráveis.

A realidade é que em edifícios escolares existe uma elevada área de vãos envidraçados verticais e o seu rácio relativamente à envolvente opaca vertical é bastante alto. Este aspeto aliado aos custos elevados de reabilitação da envolvente opaca vertical exterior, tendo em conta a sua particular complexidade de execução em remates e pontos singulares, e ainda devido aos caudais de ar novo de projeto instalados, este mostra-se um investimento com um retorno reduzido e sem efeitos substanciais para o objetivo pretendido de criar um ambiente interior de qualidade.

Pela comum grande extensão da área de construção em edifícios escolares, estes tendem a apresentar grandes áreas opacas de coberturas e assim as trocas térmicas pela envolvente opaca horizontal são significativamente superiores relativamente às trocas térmicas pela envolvente opaca vertical, logo todo o edificado beneficiará mais de um forte isolamento da cobertura do que de um forte isolamento das paredes exteriores.

Representando a envolvente envidraçada um grande peso em edifícios escolares na envolvente vertical, a transmissão térmica dos vãos envidraçados bem como o fator solar destes deveriam ser uma prioridade no momento de reabilitar. Neste campo o Caso de Estudo apresenta um coeficiente de transmissão térmica ligeiramente inferiores aos das soluções da Parque Escolar.

Apesar de um fator solar alto ser benéfico durante a estação de aquecimento e apesar do período letivo em estação de arrefecimento ser menor que o período letivo em estação de aquecimento, devido às cargas térmicas elevadas a que as salas de aula estão sujeitas, podem surgir sobre aquecimentos já em meia-estação, com incidências diferentes em diferentes zonas climáticas, pelo que um fator solar inferior perfaz um comportamento mais equilibrado do vão envidraçado ao longo de todo um ano letivo.

Além disso, ainda que a iluminação natural seja essencial em salas de aula, a existência e uso de dispositivos de oclusão eficientes na redução do fator solar, é da máxima importância na redução dos ganhos térmicos pelos vãos envidraçados durante a estação de arrefecimento, principalmente quando

não existem sistemas de arrefecimento no espaço interior. Outra forma de evitar ou reduzir a energia incidente é o uso de dispositivos fixos de sombreamento, que terão eficácia num intervalo horário limitado.

Tendo em conta os custos unitários por área de construção, já referidos no capítulo 2, envolvidos nos dois modelos de reabilitação abordados, e que grande parte destes valores estão associados à reabilitação construtiva da envolvente exterior, constata-se que, não demonstrando as soluções construtivas do Caso de Estudo desempenhos térmicos piores, no conjunto, que as da Parque Escolar, existe uma poupança substancial na aplicação das primeiras.

4

TIPIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO NO PARQUE ESCOLAR PORTUGUÊS

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais evoluções na regulamentação, relevantes no dimensionamento de sistemas de ventilação em edifícios escolares. Em seguida são tipificados e caracterizados os sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento do parque escolar português.

Numa primeira fase, o parque escolar existente e não intervencionado, com ventilação natural e, na sua quase totalidade, sem sistema de aquecimento fixo e sem sistemas de arrefecimento. Algumas noções gerais e estratégias comuns de ventilação natural, em escolas, são abordadas.

Numa segunda fase, as escolas intervencionadas pela empresa pública Parque Escolar, com sistemas mecânicos de ventilação, sistemas de aquecimento fixo e sistemas de arrefecimento. Neste ponto, faz-se uma crítica às implicações da regulamentação em vigor aquando das intervenções.

E numa terceira fase, apresentam-se os sistemas de ventilação e aquecimento implementados na reabilitação do Caso de Estudo, com sistemas de aquecimento fixo e sistema de ventilação de admissão natural e extração mecânica, e controlo da ventilação pelas solicitações reais de cada espaço.

Por último, faz-se uma análise crítica entre os sistemas das duas tipologias de intervenção reabilitativa apresentados.

4.2. ALTERAÇÕES RELEVANTES ENTRE O RSECE E O RECS NO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS ESCOLARES

É na portaria n.º 353-A/2013 que os novos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, em função da ocupação, das características do próprio edifício e dos seus sistemas de climatização e os limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior ficam estabelecidos. Algumas das principais alterações e adições a apontar relativamente à concentração de poluentes relevantes para edifícios escolares são [36]:

- A alteração do uso de valores de pico dos poluentes, como valores limite, para valores de concentração máxima permitida – o valor indicado representa agora o valor médio medido para uma média temporal de oito horas em vez do valor instantâneo.

- O aumento de 1800 mg/m³ de concentração máxima permitida de CO₂ para 2250 mg/m³ – de 1000ppm para 1250ppm, tornando a regulamentação mais permissiva e indo mais ao encontro de valores internacionais tabelados. Desta forma a utilização de alternativas a sistemas puramente mecânicos de ventilação, cumprindo ao mesmo tempo os parâmetros regulamentares, torna-se possível.

- A redução do valor do caudal mínimo de ar novo para salas de aula, de 30 m³/(h.ocupante) para 24 m³/(h.ocupante), perfazendo valores inferiores globais de caudais mínimos de ar novo para o dimensionamento por método prescritivo, caso a carga poluente originada pelos ocupantes seja maior que a gerada pelo edifício em si.

- Para a ventilação mecânica, a possibilidade de cálculo do caudal mínimo de ar novo por método analítico – traduz a aplicação da evolução temporal da concentração de dióxido de carbono, previsível no espaço, em função do respetivo perfil de ocupação, perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes, obtendo um caudal mínimo que garanta o limiar de proteção do CO₂ durante o período de ocupação. O caudal mínimo de ar novo determinado pelo método analítico, não poderá ser inferior ao necessário à diluição da carga poluente, independentemente da sua origem, calculado pelo método prescritivo.

Em ambientes escolares, particularmente em salas de aula e anfiteatros, as densidades de ocupação tomam valores significativamente altos, tornando a carga poluente devido aos ocupantes a mais importante, pelo que a devida ao edifício releva-se para segundo plano neste contexto. Resumem-se as principais diferenças relevantes entre RSECE e RECS na manutenção da qualidade do ar interior em salas de aula na Tabela 4.1 e comparam-se as exigências regulamentares nacionais de concentração máxima de dióxido de carbono e de caudais mínimos de ar novo com outras na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Principais diferenças entre o RSECE e o RECS quanto à manutenção da qualidade do ar interior em salas de aula (adaptado de [37] e [36])

	RSECE	RECS
Concentração máxima CO ₂	1000 ppm em valor de pico	1250 ppm em concentração máxima permitida
Método - Caudal mínimo de ar novo	Prescritivo - 30 m ³ /(h.ocupante)	- Prescritivo 24 m ³ /(h.ocupante) - Método Analítico

Tabela 4.2 - Exigências de QAI em salas de aula com ocupação de 20 alunos e 1 professor (adaptado de [13])

País / Norma	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Concentração máxima de CO ₂ [ppm]
Portugal (RSECE - revogado)	630	1000
Portugal (RECS)	504	1250*
Reino Unido (Building Bulletin 101)	378*	1500**

Alemanha (DIN 4108 e 4701)	315 a 420	1500
Finlândia (National building code – Part D2)	450	1200
França (Règlement Sanitaire Départemental Type)	315 a 378	-
ASHRAE 62.1 (2007)	486	700****
EN 15251 (2007) *****	650	500****

*valor médio num intervalo de oito horas contínuas

**valor médio diário; o regulamento obriga a prever a possibilidade de atingir um valor 600 m³/h, por exemplo através da abertura de janelas

***valor médio diário; o regulamento obriga a prever a possibilidade de garantir um valor 1000 ppm, por exemplo através da abertura de janelas

****concentração máxima acima do valor exterior

*****valores correspondentes à classe II (expectativa normal – edifícios novos e reabilitados)

Apesar das normas para a QAI em Portugal continuarem a ser das mais exigentes entre os países europeus, tanto os valores de caudal de ar novo mínimo como o de concentração de CO₂ máxima tomam valores mais próximos aos da regulamentação de outros países e de normas internacionais, não se considerando as diferenças atuais, relevantes no que diz respeito às ocupações típicas de salas de aula em edifícios escolares, dos ciclos de ensino em análise.

Em seguida é apresentada uma comparação entre caudais mínimos de ar novo de acordo com o método prescritivo do RSECE e os métodos prescritivo e analítico do RECS de forma a se ter uma visão geral dos cenários descritos (Figura 4.1). Para o método analítico foram ainda utilizadas duas formulações diferentes, as combinações de áreas de DuBois e atividades metabólicas de ocupantes entre 11 e 14 anos, correntemente, estudantes do segundo e terceiro ciclo do ensino básico, e entre 14 e 18 anos, comumente, estudantes do ensino secundário, em que o valor desta já assume o valor de adultos. No atual RECS o caudal de dimensionamento é o maior conseguido pelo cálculo entre os dois métodos, prescritivo e analítico.

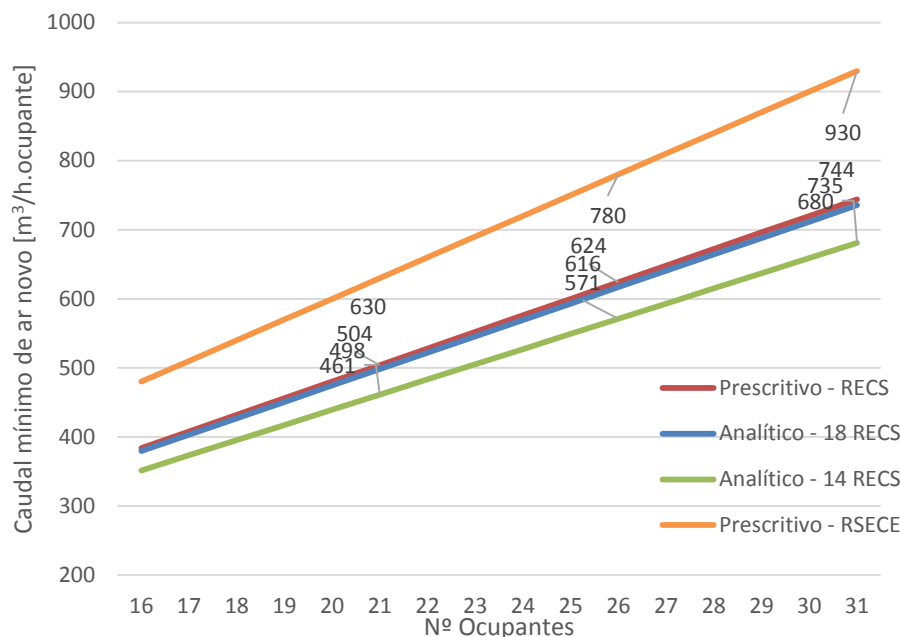


Figura 4.1 - Comparação dos caudais mínimos de ar novo entre o método prescritivo do RSECE e o método prescritivo e analítico do RECS, para diferentes taxas de ocupação e ocupantes com diferentes atividades metabólicas e áreas de DuBois

Da análise do gráfico compreende-se que, no RECS, independentemente dos grupos etários a que pertençam os ocupantes, o método prescritivo imporá caudais mínimos de ar novo superiores aos calculados pelo método analítico, pelo RECS. Isto deve-se ao método prescritivo ser mais simplista que o analítico e por isso, como demonstra o gráfico, para maiores taxas de ocupação maior é o erro introduzido no cálculo, este cada vez menos significativo quando se tem em conta ocupantes com valores de metabolismo e áreas de DuBois de indivíduos adultos.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO NO PARQUE ESCOLAR NÃO INTERVENCIÓNADO

A totalidade dos edifícios escolares públicos do 2.º e 3.º ciclo do EB e do ES, não reabilitados ou prévios a 2007, são dotados de sistemas de ventilação natural, pouco eficientes em termos de QAI e muito deficitários em relação ao conforto térmico geral e localizado. Quanto a sistemas de aquecimento, a sua presença é apenas pontual e em muitos dos estabelecimentos soluções temporárias são usadas para colmatar este aspeto.

Em seguida é apresentada a caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento em diferentes tipologias construtivas do parque escolar português, numa fase prévia a qualquer reabilitação (Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento dos liceus históricos, liceus e escolas industriais e/ou comerciais (adaptado de [20] e [23])

Elemento	Caracterização
Sistemas de ventilação	- Ventilação natural por abertura de janelas - Ventilação mecânica intermitente (cozinha)
Sistemas de aquecimento	- Aquecedores elétricos avulso

Tabela 4.4 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento das escolas tipo brandão, tipo blocos 3x3 e tipo monobloco (adaptado de [20], [26], [27], [28], [29], [30] e [31])

Elemento	Caracterização
Sistemas de ventilação	- Ventilação natural por abertura de janelas basculantes, de correr e por abertura de bandeiras (instalações sanitárias/ salas de aula) - Grelhas de ventilação em portas (pontual) - Ventilação natural por abertura de janelas presentes nas paredes interiores (pontual) - Ventilação mecânica por extrator (laboratórios) - Ventilação mecânica intermitente (cozinha)
Sistemas de aquecimento	- Aquecedores elétricos avulso - Aparelhos fixos elétricos: acumuladores de calor (pontual)

Uma das estratégias comuns de ventilação nestes estabelecimentos escolares é a ventilação cruzada (Figura 4.2), que apesar de pouco dispendiosa e de simples execução, por janelas e aberturas numa das fachadas, tem o senão de ter o efeito do vento como principal força motriz, perfazendo fluxos de ar pouco regulares e sem possibilidade de controlo. As características das aberturas entre espaços interiores também afetam a eficácia do sistema como um todo [38].

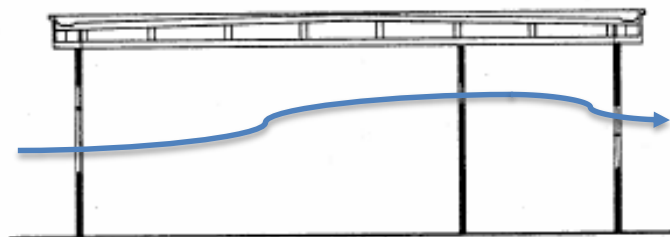


Figura 4.2 - Esquema original de estratégia de ventilação natural cruzada numa sala de aula tipo do liceu nacional de Almada (adaptado de [23])

Em suma, à ventilação natural estão associados dois problemas principais [38]:

- O reduzido ou nulo controlo do fluxo de ar – gera perdas de carga térmica em climas frios e sobreaquecimento do espaço interior em climas quentes;
- O não controlo da temperatura do ar admitido - cria correntes de ar frio em estações frias e desconforto térmico geral e localizado em ambos os climas.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS INSTALADOS NAS INTERVENÇÕES DA EMPRESA PÚBLICA PARQUE ESCOLAR

A Parque Escolar indicava como orientação de projeto nas intervenções, a preferência pelo estudo de soluções de ventilação natural e aplicação desta, sempre que a mesma garantisse os caudais de ar de renovação requeridos pelo RSECE, mas obtenção de caudais constantes tão elevados, como os requeridos pela regulamentação da época, o RSECE, e mesmo o atual RECS, é de difícil cumprimento por sistemas de ventilação natural, sem que se comprometa o conforto térmico [39].

Em seguida são apresentadas características representativas dos sistemas de ventilação e climatização instalados em intervenções feitas, pela Parque Escolar, em edifícios escolares existentes.

Tabela 4.5 - Caracterização dos sistemas de ventilação e climatização instalados nas escolas reabilitadas pela Parque Escolar (adaptado de [39])

Elemento	Caracterização
Sistema de ventilação	<ul style="list-style-type: none"> - Insuflação e extração mecânica (salas de aula, espaços administrativos e instalações de serviço) - Controlo e programação por GTC
Sistema de aquecimento	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de radiadores alimentados com água quente - Controlo e programação por GTC
Sistema de arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas centralizados de arrefecimento - Controlo e programação por GTC

Na generalidade dos sistemas instalados é feita insuflação de ar novo nas salas através de uma unidade de tratamento de ar novo– UTAN, geralmente junto à sanca da parede do quadro e a extração é feita na sanca da parede oposta ou no corredor. Noutras soluções a insuflação de ar é feita por uma consola a todo o comprimento do paramento inferior da parede exterior (Figura 4.3). A UTAN tem por função filtrar e climatizar o ar novo admitido e recuperar o calor do ar extraído [40].

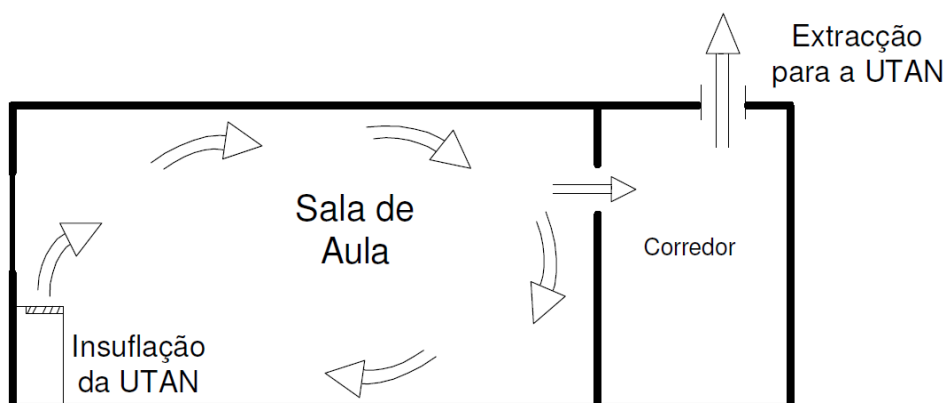


Figura 4.3 - Esquema tipo do processo de admissão de ar novo e extração de ar viciado em salas de aula reabilitadas pela Parque Escolar [40]

Os horários dos espaços letivos (salas de aula, salas de TIC, laboratórios e oficinas) destinados ao ensino por turmas foi considerado, no dimensionamento dos sistemas AVAC, entre as 8 e as 18 horas ou até as 23 horas no caso do ensino noturno, todos os dias entre 15 de Setembro e 15 de Junho com as pausas das férias de Natal e da Páscoa de 2 semanas cada. Foi ainda usada para o dimensionamento do sistema uma ocupação média de 25 alunos mais um professor [39].

Apesar da solução final ficar a cargo de cada projetista a maioria das soluções adotadas para as intervenções foram sistemas de ventilação mecânica, na sua maioria de registos de volume de ar constante – CAV devido a terem custos iniciais inferiores a soluções de registos de volume de ar variável – VAV.

As aplicações apenas pontuais em algumas intervenções de sistemas VRV – Volume de Refrigerante Variável independentes não permite, na maioria dos casos, a utilização dos sistemas de climatização apenas nas áreas necessitadas, sem que ocorram desperdícios de energia [41].

Estes aspetos aliados à estratégia simplista de lidar com os horários de funcionamento de cada espaço letivo perfaz gastos energéticos extras, além dos gastos energéticos elevados decorrentes do sobredimensionamento já conferido pelas exigências da regulamentação.

4.4.1. IMPLICAÇÕES DO SCE E DO RSECE

No âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios - SCE, a intenção, da Parque Escolar, de classificação A ou A+ e de satisfação da QAI, apenas por caudais de ventilação, na ordem dos 600 m³/h para ocupações de 21 pessoas e de 930 m³/h para ocupações de 31 pessoas, confere ao edifício uma dependência unicamente dos sistemas instalados para a ventilação mecânica e aquecimento/arrefecimento, ou seja, tornando as soluções da envolvente irrelevantes para o desempenho energético final do edifício [32].

Este tipo de equilíbrio entre os sistemas que regulam o desempenho higratérmico (envolvente e sistemas de climatização) resulta em várias contradições e num efeito contraproducente para os objetivos da eficiência energética e da QAI. A utilização de sistemas de ventilação mecânicos conduz a elevados custos iniciais, de manutenção e exploração, introdução de equipamentos mais intrusivos para o edificado, com questões estéticas, patrimoniais e de planeamento espacial em causa.

Sendo que as condições de ambiente interior ficam maioritariamente condicionadas pelas propriedades do ar novo admitido no espaço, os gastos financeiros com aquecimento no Inverno e arrefecimento no

Verão serão maiores do que numa fase prévia à intervenção. Caso não se faça o aquecimento ou arrefecimento do ar novo admitido, apesar de não se incrementarem os gastos, o espaço adquirirá uma temperatura e humidade relativas interiores praticamente iguais às exteriores, resultando numa regressão das condições higratérmicas relativamente a uma situação prévia à intervenção.



Figura 4.4 - Implicações construtivas dos sistemas de AVAC da Parque Escolar no interior das escolas reabilitadas [21]

Devido à elevada estanquidade requerida à envolvente na instalação de um sistema de ventilação mecânico, qualquer avaria do sistema, ou paragem do seu funcionamento por falta de capacidade financeira ou meios humanos qualificados, resultará numa QAI muito inferior comparativamente a uma situação prévia à intervenção.

A adoção de sistemas de ventilação mecânica com volume constante resulta numa sobre ventilação de espaços e gastos despropositados de energia. A adoção de critérios probabilísticos para diferentes perfis de utilização e espaços tipo seria uma mais-valia para a otimização do desempenho dos sistemas de ventilação com gastos de energia mais comedidos, como já se aplica noutros países.



Figura 4.5 - Implicações construtivas dos sistemas de AVAC da Parque Escolar pelo exterior das escolas reabilitadas [21]

Em 2010 a Parque Escolar admitia a ocorrência de todos estes problemas e inconvenientes associados no parque escolar reabilitado.

Os aumentos dos consumos energéticos além de devidos ao aumento das áreas de utilização, infra-estruturas de tecnologias da informação, climatização, centrais de segurança, são principalmente derivados do funcionamento dos sistemas de AVAC.

Várias problemáticas com a legislação se indicavam em 2010 [13]:

- Ausência da obrigatoriedade do cálculo da componente de ventilação natural em função do clima temperado de Portugal, tendo como consequência o excesso de soluções e componentes mecânicos contrariando o propósito da eficiência energética.

A nova legislação continua a não tornar obrigatória a combinação de ambas as componentes, mas indica essa realidade como uma possibilidade. O bom senso dos projetistas deve estar presente e a compatibilização das mesmas para a eficiência energética, sem descuidar a qualidade do ambiente interior, deve ser um objetivo primário.

- Tendência à uniformização de tratamento igual para todos os espaços do edifício não contabilizando a especificidade da atividade das escolas, nomeadamente a sazonalidade, os horários de funcionamento, as diferentes taxas de ocupação e a diversidade de funções;

Esta tendência tem duas causas principais: a ausência de obrigatoriedade de adoção de determinada solução para determinadas condicionantes e o grande grau de simplificação na aplicação da mesma. A atual legislação não torna obrigatório um sistema específico, excetuando o controlo indireto pelos caudais de ar novo de dimensionamento. Já relativamente ao segundo aspeto, a nova legislação indica para cada sistema, em cada método de cálculo, critérios mais rigorosos a cumprir, dados mais rigorosos a utilizar e a necessidade de comparação entre diferentes métodos no caso da ventilação mecânica, o que oferece aos projetistas uma maior panóplia de opções para diferentes perfis de utilização e ocupação de determinado espaço.

- Maiores exigências nos parâmetros do caudal e qualidade de ar nos regulamentos nacionais do que na maioria das normas internacionais.

4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DO MODELO PROPOSTO NO CASO DE ESTUDO

A filosofia base dos sistemas de ventilação predominantemente naturais, mas com auxílio mecânico, é a combinação de propriedades dos sistemas mecânicos e naturais de forma a se maximizar a variável performance-custo e superar as limitações dos sistemas de ventilação natural.

Algumas das formas de combinar a vertente natural e mecânica nestes sistemas de ventilação são [42]:

- Extração mecânica e admissão natural – mais adequado em climas frios, pois ao se extrair continuamente ar novo do espaço interior este fica em depressão, o que em climas quentes resultaria na infiltração de ar quente nos orifícios e locais da envolvente menos estanques podendo criar condensações em superfícies frias e problemas de humidades nos elementos construtivos.
- Extração natural e admissão mecânica – mais adequado em climas quentes, pois ao se introduzir continuamente ar novo no espaço interior este fica sob pressão, o que em climas frios resultaria na infiltração de ar quente nos orifícios e locais da envolvente menos estanques podendo criar condensações em superfícies frias e problemas de humidades nos elementos construtivos.
- Aquecimento e arrefecimento mecânicos associados a ventilação natural – o que ainda assim não permite o controlo do fluxo de ar admitido.

O dimensionamento deste tipo de sistemas “híbridos” deve incluir uma estratégia de controlo que minimize os consumos de energia e que maximize a qualidade do ambiente interior.

A ventilação controlada pelas necessidades reais reflete uma estratégia de flexibilização dos caudais de ar novo admitidos num espaço de forma a este acompanhar as variações de ocupação, e consequentemente de carga poluente, não se tendo em conta apenas o valor de dimensionamento como regulador constante do sistema.

Existem numerosas formas de controlo do caudal de ar novo, num sistema com este tipo de controlo de ventilação, entre elas salientam-se o controlo por [42]:

- Sensores de concentração de CO₂ no interior do espaço – maior número de ocupantes, maior produção de CO₂, maiores caudais de ar novo necessários à manutenção da QAI.
- Sensores de ocupação – limitados pelo fato de o caudal de ventilação ser o mesmo independentemente do número de ocupantes.

A Figura 4.6 compara taxas de ventilação de diferentes sistemas e diferentes métodos de controlo das necessidades de um espaço.

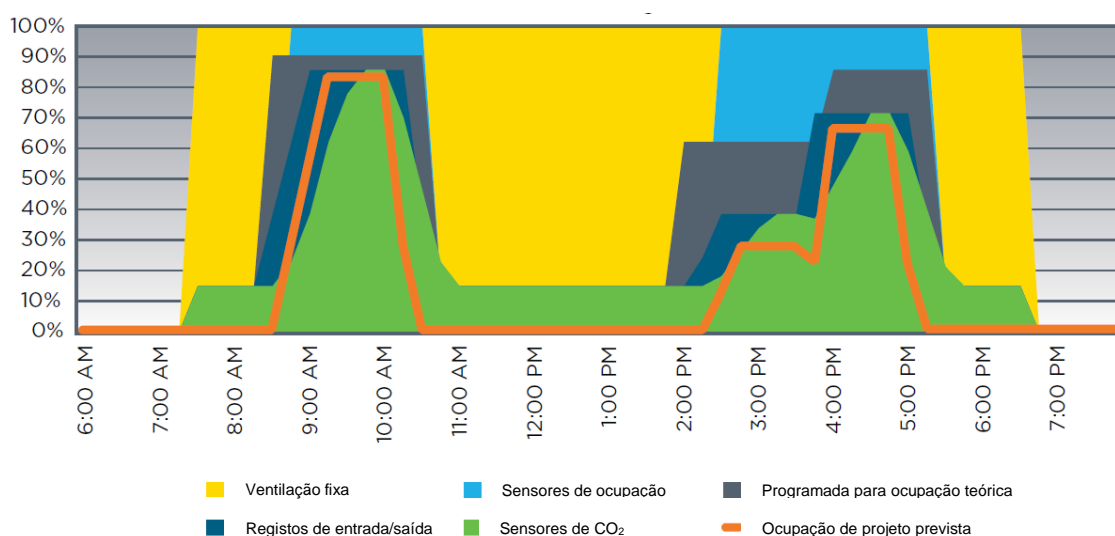


Figura 4.6 - Taxas de ventilação por sistemas VAC e por sistemas alternativos com ventilação controlada pelas necessidades reais (adaptado de [42])

A vantagem deste sistema para um sistema de volume de ar constante – VAC mostra-se óbvia na redução dos custos operacionais. A ventilação controlada pelas necessidades reais diferencia-se de um sistema de volume de ar variável – VAV pelo fato de o segundo ter funcionamento por controlo manual ou por programação temporal, não dependendo de valores medidos [43].

No modelo proposto no Caso de Estudo monitorizado na presente tese, o objetivo foi a conjugação de um sistema de ventilação alternativo com uma solução de ventilação controlada pelas necessidades reais, que potencia a redução dos custos de exploração do sistema misto de ventilação, ao qual já está associada uma redução dos custos iniciais, de manutenção e exploração, relativamente a um sistema puramente mecânico de VAC ou VAV.

A reabilitação no Caso de Estudo dos sistemas de ventilação e aquecimento foi feita tendo em vista o máximo aproveitamento ou reaproveitamento dos recursos e espaços existentes. Enquanto no sistema de ventilação foi utilizado um espaço sem uso prévio, junto à sanca da fachada, para a admissão de ar novo, no sistema de aquecimento tentou-se aproveitar ao máximo os radiadores existentes. Apesar de no projeto de reabilitação não estar contemplado um sistema de arrefecimento, o sistema de ventilação

está programado para realizar ciclos de arrefecimento gratuito. Ambos os sistemas de ventilação e aquecimento são controlados por uma unidade de Gestão Técnica Centralizada – GTC.

Os sistemas são resumidamente caracterizados da seguinte forma (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Caracterização dos sistemas de ventilação e aquecimento instalados na reabilitação do Caso de Estudo (adaptado de [35])

Elemento	Caracterização
Sistemas de ventilação	<ul style="list-style-type: none"> - Admissão natural de ar pelas caixas de estore e extração mecânica para os espaços de circulação adjacentes e cobertura - Solução de ventilação controlada pelas necessidades reais - Controlo e programação por GTC
Sistemas de aquecimento	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de radiadores alimentados com água quente - Controlo e programação por GTC

4.5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Descreve-se em seguida o sistema de ventilação nas salas de aula e espaços de circulação do corpo em estudo [35].

- Admissão de ar novo por frinchas nas caixas de estores que se desenvolvem ao longo do seu comprimento, o qual é filtrado antes da entrada na sala de aula por grelhas lineares de insuflação, instaladas no teto falso (Figura 4.7).

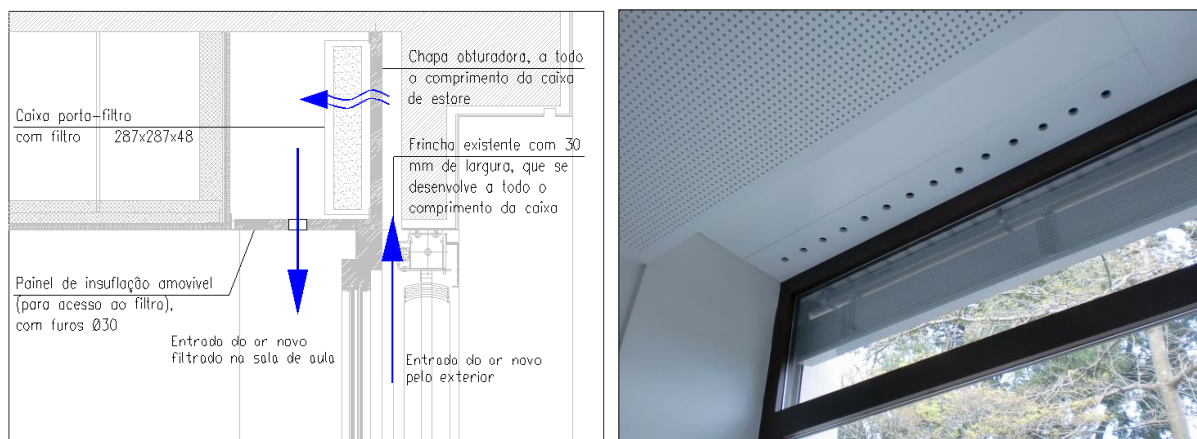


Figura 4.7 - Esquema do processo de admissão de ar novo nas salas de aula do Caso de Estudo [44]

- Extração do ar das salas de aula por grelhas de extração linear nas paredes interiores destas sobre as portas de acesso à zona de circulação comum, recorrendo ao uso ventiladores de extração, um por sala, controlado por pressostato diferencial de ar (Figura 4.8).

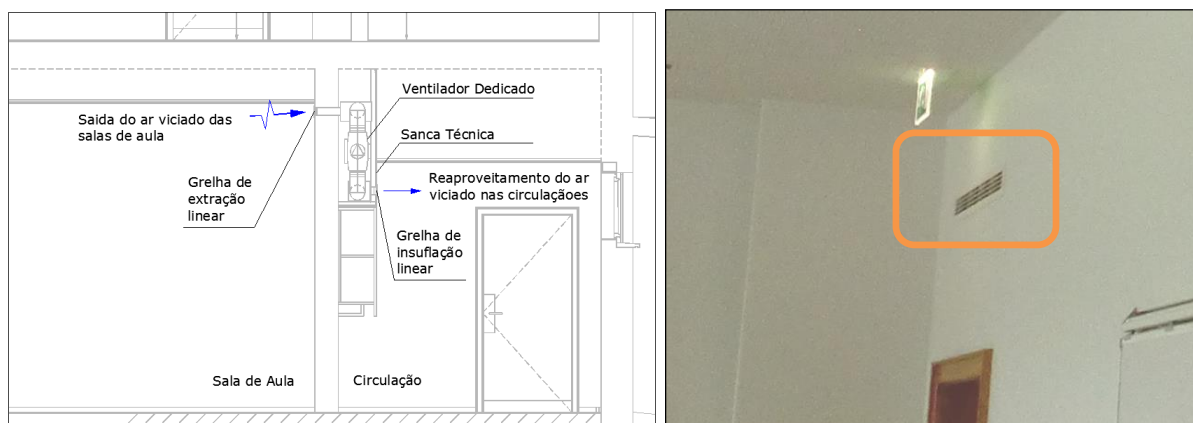


Figura 4.8 - Esquema do processo de extração do ar viciado das salas de aula do Caso de Estudo [44]

- Admissão do ar extraído das salas de aula, exceções em algumas delas, para o espaço de circulação por grelhas de insuflação linear, na sanca técnica.
- Extração do espaço de circulação por grelhas de extração lineares nas paredes interiores do espaço, com dois ventiladores de extração gerais – VEG, instalados na cobertura do edifício (Figura 4.9).

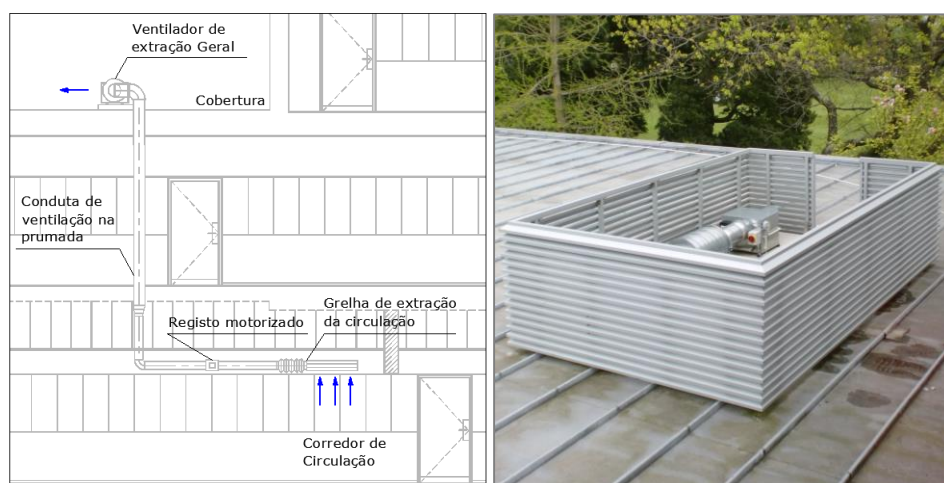


Figura 4.9 - Esquema do processo de extração de ar viciado das circulações do Caso de Estudo [44]

- Um sensor de medição da concentração de CO₂ no interior de cada sala de aula (Figura 4.10).

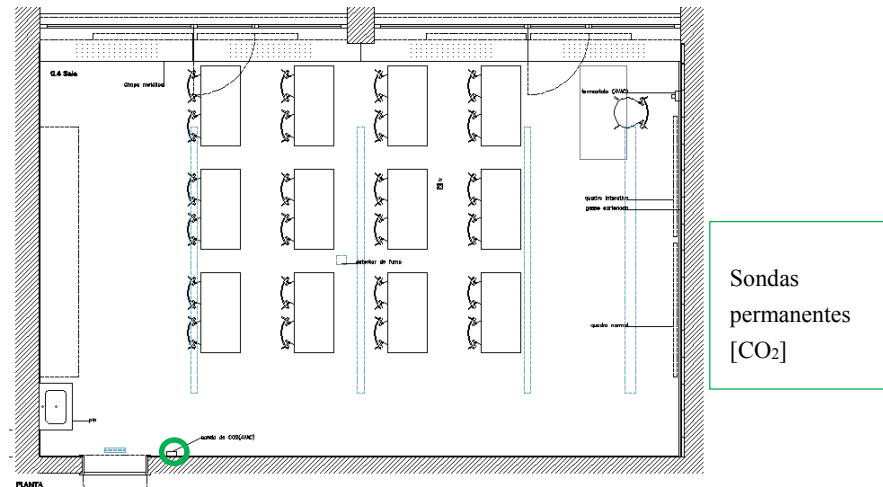


Figura 4.10 - Posição tipo em planta das sondas de medição da concentração de CO₂ nas salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])

A Figura 4.11 esquematiza o trajeto do ar desde a admissão ao espaço interior até à extração para o exterior do edifício.

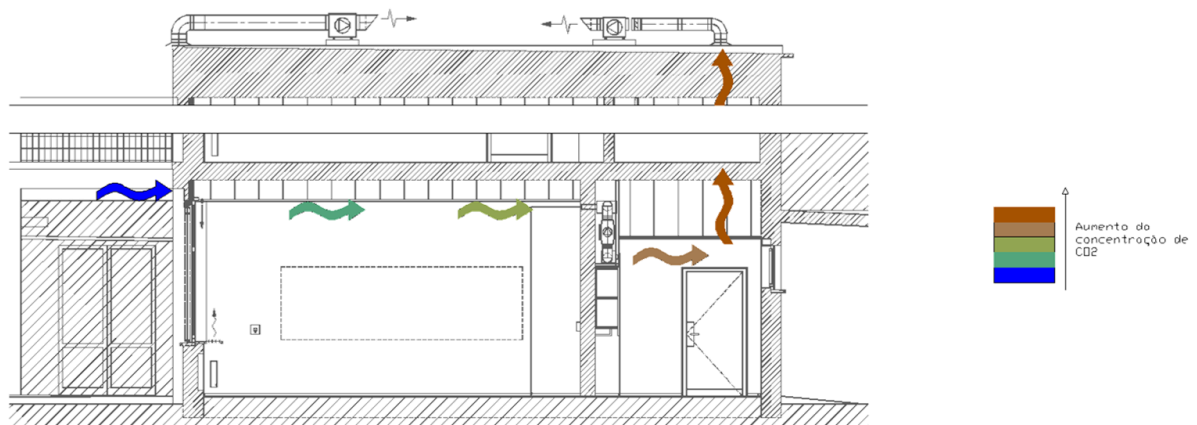


Figura 4.11 - Esquema do sistema de ventilação instalado na reabilitação do Caso de Estudo [44]

Existiu a preocupação de compatibilizar, nos filtros da admissão, baixas perdas de cargas de forma a possibilitar o uso de ventiladores de extração silenciosos, com suficientes perdas de carga que mantenham as perdas de calor, na estação de aquecimento, em valores razoáveis. E ainda para efeitos de ruído, de dotar todas as condutas de forte isolamento acústico (< 35 dB). Os registos motorizados estanques tudo ou nada, instalados nas prumadas, uma por ventilador, têm o intuito de minimizar as perdas de carga térmica dos espaços interiores pelas condutas de extração, durante a estação de aquecimento.

4.5.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DO MODELO PROPOSTO

O sistema de aquecimento nas salas de aula baseia-se:

- Conjunto de radiadores ocultos sobre soleira metálica perfurada, sob os vãos envidraçados, aquecidos por água quente, através de tubagens isoladas termicamente, resultante do funcionamento de um equipamento de aquecimento hidráulico central (Figura 4.12).



Figura 4.12 - Posição dos radiadores nas salas de aula do Caso de Estudo [44]

- Uma sonda de temperatura interior em cada sala de aula, com capacidade de regulação da temperatura interior dentro de um intervalo permitido pela GTC, entre 18°C e 22°C (Figura 4.13).

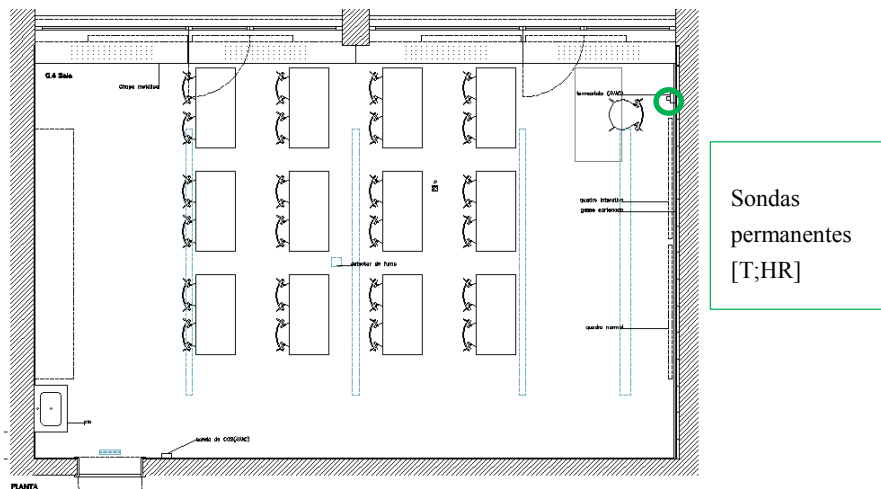


Figura 4.13 - Posição tipo em planta das sondas de medição dos valores de temperatura e humidade relativa no interior das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])

Foi ainda instalada uma única sonda de temperatura do ar exterior, de forma a regular os ciclos de arrefecimento gratuito durante o período letivo. Com o intuito de tornar o uso dos radiadores mais personalizável foi colocada em cada sala uma válvula motorizada tudo ou nada, para tornar possível o aquecimento individualizado de cada uma, sempre que pretendido.

4.5.3. GESTÃO TÉCNICA CENTRALIZADA DO MODELO PROPOSTO

A função da GTC instalada é controlar o funcionamento destes dois sistemas através das sondas e sensores instalados em cada compartimento, de forma a limitar e escalar o uso destes, para a manutenção do conforto dos utilizadores, nos compartimentos com ocupação. Os sensores de medição da concentração de CO₂ e as sondas de temperatura interior estão instalados a cerca de 1,1 metros dos pavimentos, de forma a realizarem medições ao nível da cabeça dos ocupantes quando sentados.

O funcionamento do sistema de ventilação por controlo do nível de CO₂ em cada compartimento está condicionado ao seu período com atividades letivas, por programação na GTC, com permissão para começo de funcionamento uma hora antes do início destas mesmas atividades e no limite, até trinta minutos após o fim do horário letivo, de forma a precaver situações de permanência ligeiramente superiores.

O funcionamento do sistema de aquecimento em cada compartimento está condicionado ao seu período com atividades letivas, por programação na GTC, com permissão para começo de funcionamento uma hora antes do início destas mesmas atividades e fim da permissão de funcionamento, trinta minutos antes do fim do horário letivo, aproveitando-se assim a água quente em arrefecimento nas tubagens para o aquecimento dos trinta minutos finais do período letivo sem que se use energia adicional.

A horário com permissão para funcionamento está definido na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Permissão de funcionamento dos sistemas de ventilação e aquecimento nas salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])

Início(i) / fim(f) do horário letivo [horas]	Sistemas	
	Ventilação	Aquecimento
Início permissão	-1:00 i	-1:00 i
Fim permissão	+0:30 f	-0:30 f

Está programado o aquecimento das salas de aula e circulações nas madrugadas do dia anterior ao primeiro dia de aulas de uma semana letiva, caso a temperatura interior destas atinja valores inferiores a 12 °C, sendo as salas nestas condições aquecidas até aos 18 °C.

A GTC realiza dois ciclos de ventilação, visto que a renovação de ar das salas de aula dá-se em conjunto com a renovação do ar da circulação adjacente:

- Ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula e circulações

Estes ciclos baseiam-se na ventilação por controlo dos níveis de CO₂ no interior das salas de aula. A definição da estação de aquecimento foi predefinida na GTC para o intervalo de meses entre novembro e abril, inclusive, com possibilidade ainda assim de alteração por técnico competente.

Os critérios de arranque e paragem em termos de concentração de CO₂ são transversais a ambas as estações de aquecimento e arrefecimento. A primeira reveste-se ainda de uma condicionante extra, a temperatura exterior.

Os critérios de arranque e de paragem dos ventiladores de extração de cada sala de aula são os seguintes (Tabelas 4.8 e 4.9).

Tabela 4.8 - Critérios de arranque dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])

$T_e > 8^\circ\text{C}^*$	$T_e \leq 8^\circ\text{C}^*$	Caudal a extrair (m^3/h)
1000 ppm de CO_2	1500 ppm de CO_2	Caudal inferior (240)
1400 ppm de CO_2	1800 ppm de CO_2	Caudal superior (400)

*Condicionante apenas em estação de aquecimento

Tabela 4.9 - Critérios de paragem dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo (adaptado de [35])

$T_e > 8^\circ\text{C}^*$	$T_e \leq 8^\circ\text{C}^*$	Caudal a extrair (m^3/h)
900 ppm de CO_2	1400 ppm de CO_2	Caudal inferior (240)
1300 ppm de CO_2	1700 ppm de CO_2	Caudal superior (400)

* Condicionante apenas em estação de aquecimento

A Figura 4.14 esquematiza o funcionamento dos ciclos acima caracterizados

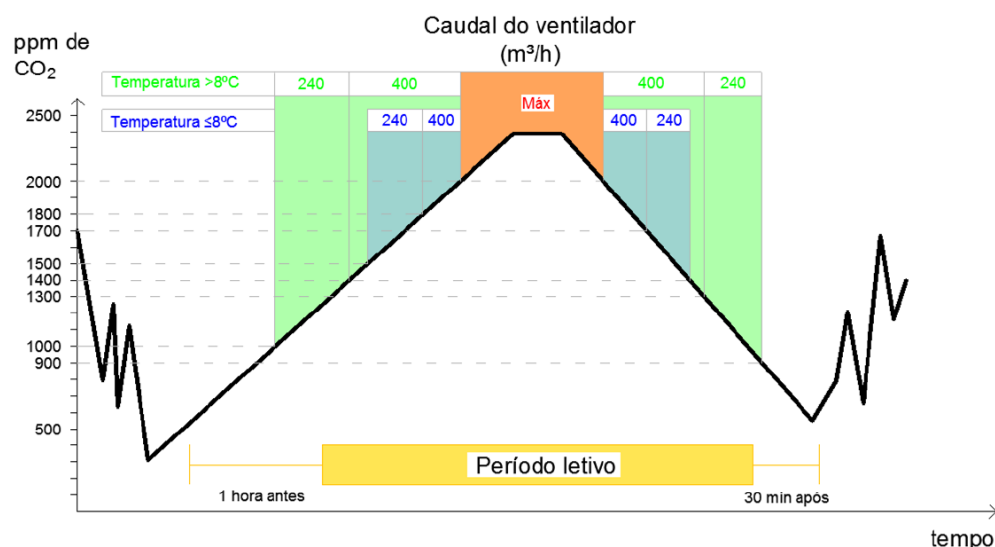


Figura 4.14 - Esquema do funcionamento dos ciclos de ventilação para renovação do ar das salas de aula do Caso de Estudo [44]

A definição de dois escalões de funcionamento tem três objetivos:

- Diminuir os gastos com a energia absorvida pelos ventiladores.
- Diminuir os gastos de energia necessária a aquecer o ar novo na estação de aquecimento.
- Conferir uma menor perturbação à acústica de cada sala de aula.

O início de funcionamento de um dos ventiladores de extração gerais – VEG, o VEG1 na ala Norte, e o VEG2 na ala Sul, dá-se quando se inicia a atividade de um ou mais ventiladores dedicados em cada sala de aula, na ala específica. Dependendo do número de pisos em que existam ventiladores dedicados a funcionar, o VEG associado a essa ala terá diferentes caudais de extração, por programação na GTC.

O faseamento dos caudais a extrair por piso permite mais uma vez maior contenção com os gastos energéticos e uma atenuação dos ruídos introduzidos nas circulações. Além destes fatores, tendo em conta a existência de registos tudo ou nada em cada piso, os caudais estratificados impedem a criação de subpressões maiores que as necessárias nos pisos com ventiladores dedicados em funcionamento.

As Tabelas 4.10 e 4.11 indicam os escalões de extração dos ventiladores gerais.

Tabela 4.10 - Caudais de extração, nas circulações do Caso de Estudo, do ventilador de extração geral da Ala Norte (adaptado de [35])

Ventiladores dedicados em funcionamento no(s) piso(s)	Caudal a extrair pelo VEG1 (m³/h)
0	300
1	250
0 e 1	550

Tabela 4.11 - Caudais de extração, nas circulações do Caso de Estudo, do ventilador de extração geral da Ala Sul (adaptado de [35])

Ventiladores dedicados em funcionamento no(s) piso(s)	Caudal a extrair pelo VEG2 (m³/h)
0	450
1	600
2	650
0 e 1	1050
0 e 2	1100
1 e 2	1250

O funcionamento dos ventiladores de extração gerais continua por cinco minutos após a interrupção do funcionamento dos ventiladores dedicados de cada sala, acompanhando os valores e princípios apresentados nos quadros anteriores.

- Ciclos de ventilação para arrefecimento gratuito

Os critérios de arranque e de paragem dos ventiladores de extração de cada sala de aula são os apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.13, para durante o período letivo e fora do período letivo, respetivamente. As Figuras 4.15 e 4.16 esquematizam o funcionamento destes ciclos.

Tabela 4.12 - Critérios de arranque e paragem dos ciclos de ventilação para arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, durante período letivo, em estação de arrefecimento (adaptado de [35])

Condições de Arranque do Sistema	Caudal a extrair (m³/h)
($T_i > 25^{\circ}\text{C}$) e [$T_i > (T_e + 4^{\circ}\text{C})$]	Caudal inferior (240)
($T_i > 27^{\circ}\text{C}$) e [$T_i > (T_e + 4^{\circ}\text{C})$]	Caudal superior (400)
Condições de Paragem do Sistema	
$T_i \leq (T_e + 4^{\circ}\text{C})$	
$T_i \leq 25^{\circ}\text{C}$	

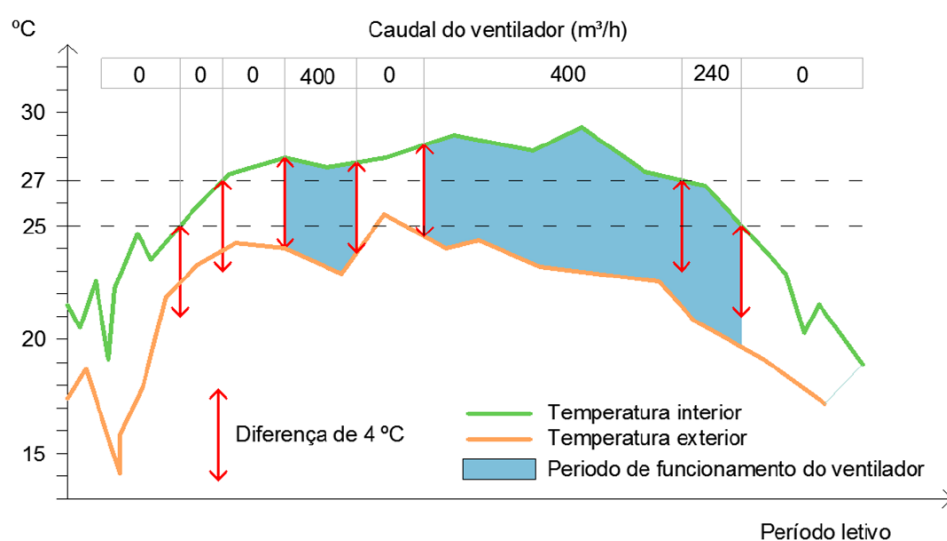


Figura 4.15 - Esquema do funcionamento dos ciclos de arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, em período letivo [44]

Tabela 4.13 - Critérios de arranque e paragem dos ciclos de ventilação para arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, fora de período letivo, em estação de arrefecimento (adaptado de [35])

Condições de Arranque do Sistema	Caudal a extrair (m³/h)
($T_i > 22^{\circ}\text{C}$) e [$T_i > (T_e + 4^{\circ}\text{C})$]	Caudal não controlado (máximo)
Condições de Paragem do Sistema	
$T_i \leq (T_e + 4^{\circ}\text{C})$	
$T_i \leq 22^{\circ}\text{C}$	

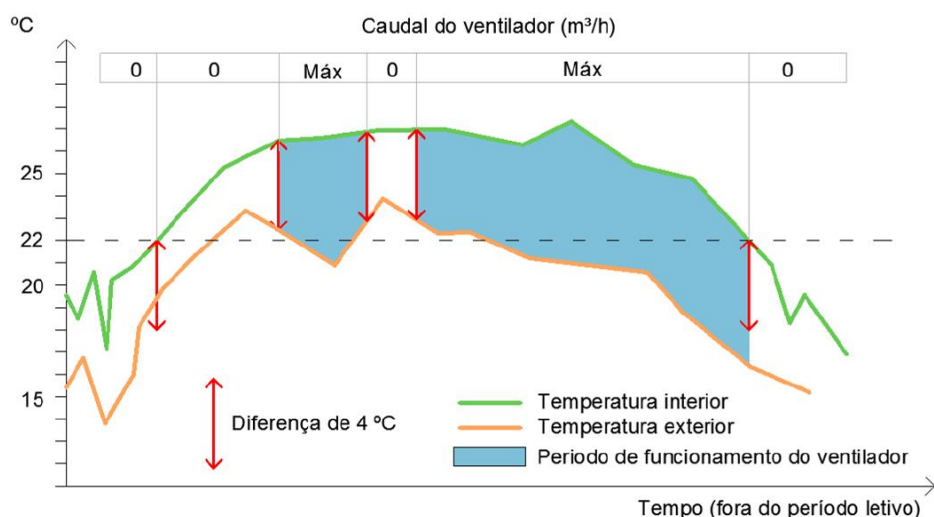


Figura 4.16 - Esquema do funcionamento dos ciclos de arrefecimento gratuito das salas de aula do Caso de Estudo, fora de período letivo [44]

A programação de realização destes ciclos fora do período letivo tem por objetivo maximizar o aproveitamento da inércia térmica da construção, durante a estação de arrefecimento. Neste período a temperatura mínima de arranque é de 22°C e não o valor de 25°C considerado para o arranque em período letivo porque fora do período letivo não há risco de se criarem condições de desconforto localizado. Os ciclos de ventilação por excesso de CO₂ são prioritários em relação a estes.

4.6. REFLEXÃO

Importa neste momento fazer uma comparação e reflexão entre os caudais de ar novo numa sala tipo nos dois modelos apresentados como solução em reabilitação, o modelo da Parque Escolar e o modelo do Caso de Estudo.

Em muitas das intervenções da Parque Escolar foram adotados caudais tendo em conta ocupações por sala de 30 alunos mais 1 professor, perfazendo caudais de ar novo de projeto da ordem dos 930 m³/h.

Se se tiverem em conta as perspetivas demográficas futuras este nível de ocupação revela-se exagerado. Dever-se-iam ter contemplado outras soluções, como o redimensionamento de turmas, a complementação com formas de ventilação natural ou ainda a possibilidade de escalonamento dos caudais indo ao encontro das necessidades dos utilizadores. O cumprimento de caudais de ar novo prescritivos do RSECE conduzem em qualquer dos casos a uma sobre ventilação. Adicionalmente, em termos de consumos energéticos por ventiladores ter-se-á de considerar os caudais apresentados em duplicado, visto tanto a admissão como a extração possuem ventiladores dedicados.

Relativamente ao modelo proposto no Caso de Estudo, o escalonamento dos caudais de projeto a extrair (240, 400 e 650 m³/h), por controlo de nível de CO₂, possibilita uma dinâmica de ocupação e acompanhamento das necessidades dos utilizadores mais adequada, bem como consumos energéticos muito inferiores. De acordo com o atual RECS, estes caudais permitem ocupações por sala até 27 utilizadores, o que é um valor mais que adequado, tendo em conta a perspetivas demográficas futuras.

5

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM SERVIÇO DO CASO DE ESTUDO

5.1. INTRODUÇÃO

As alternativas propostas para a reabilitação de edifícios escolares e a necessidade de provar a eficiência das soluções implementadas, traduziu-se na realização de uma campanha experimental no corpo do Caso de Estudo. Escolheram-se quatro salas de aula consideradas como representativas da tipologia de salas do edifício, para a leitura de parâmetros caracterizadores da qualidade do ambiente interior.

Primeiramente, caracteriza-se o corpo do Caso de Estudo e aborda-se a metodologia de monitorização dos espaços. Em seguida, são apresentadas as condições exteriores e as leituras de temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono interiores em cada sala de aula. Ao longo da apresentação dos dados é feito um tratamento estatístico relevante para a análise do comportamento de cada espaço.

Por último, faz-se uma análise crítica aos resultados.

5.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DO CORPO

O edifício do Caso de Estudo faz parte de uma instituição escolar situada no Porto. Este edifício, de 4 pisos, alberga uma central técnica no único piso enterrado, e nos três pisos acima da cota do solo, salas de aula e laboratórios de física e química. A fachada longitudinal traseira, onde se situam os envidraçados das salas de aula do corpo, está orientada a nascente.

O piso 0 contém cinco salas de aula, duas instalações sanitárias e um corredor de circulação entre estes locais e o exterior. No piso 1 estão presentes salas de aula especializadas, um de biologia e um de multimédia, um laboratório de física e um de química, um compartimento para arrumos, e um corredor de circulação entre os locais e o corpo principal da escola. No piso 2 existem quatro salas de aula, uma sala de desenho e um espaço para arrumos, a circulação é em tudo similar à do piso 1.

5.3. METODOLOGIA

A campanha experimental, para o estudo das condições interiores higratérmicas e de qualidade do ar, em quatro salas de aulas reabilitadas, duas do piso 0 e duas do piso 2, em condições de serviço, decorreu

de 10 de dezembro de 2013 a 2 de junho de 2014, ou seja, 25 semanas, 20 em estação de aquecimento e 5 em estação de arrefecimento (Figuras 5.1 e 5.2).

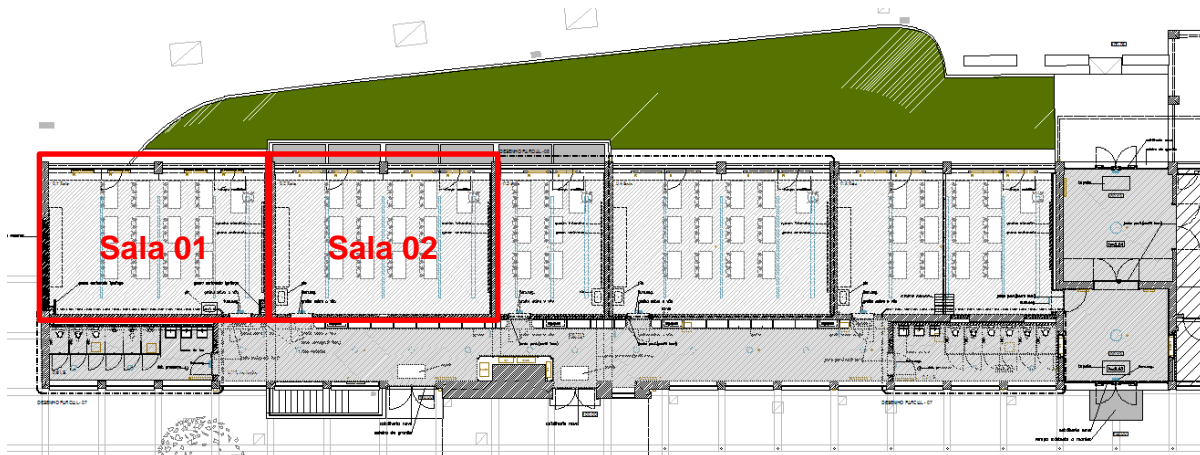


Figura 5.1- Posição das salas do piso 0 monitorizadas (adaptado de [35])

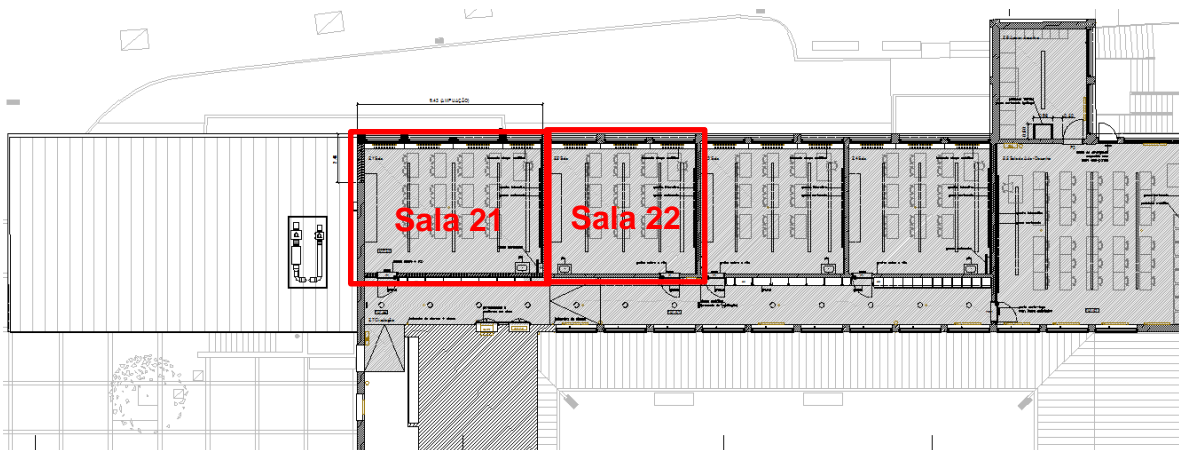


Figura 5.2 - Posição das salas do piso 2 monitorizadas (adaptado de [35])

Todas as salas monitorizadas encontram-se reabilitadas, apresentam dimensões semelhantes, fachada exterior com vãos envidraçados de áreas substanciais a nascente e acessos pelo interior do edifício ao longo dos corredores de circulação. As salas 01 e 21 são de esquina, ou seja, possuem duas fachadas exteriores, enquanto as salas 02 e 22 apresentam apenas a fachada exterior a nascente. Desta forma pretendeu-se a monitorização de todos os cenários diferentes, tendo em conta os distintos graus de exposição que as diversas posições e alturas conferem.

Em cada sala de aula foram instaladas uma sonda de leitura de humidade relativa (HR) e temperatura (T) e uma sonda de medição de concentração de CO₂.

As sondas de leitura de HR e T utilizadas foram HOB0 U12 Temp/HR Data Logger, que têm precisões de leitura de $\pm 0,35$ °C na leitura de temperatura, e $\pm 3,5\%$ na leitura de humidade relativa.

As sondas de medição de concentração de CO₂ foram Telaire 700li, às quais foram associados data-loggers HOB0 para armazenamento de dados. O conjunto permite registar valores até 5000 ppm, com

uma resolução de $\pm 2\text{ppm}$ e um erro máximo admissível de $\pm 100\text{ppm}$ ou 10% da leitura, o mais alto dos dois.

A Figura 5.3 indica em planta a posição das sondas para a monitorização de cada sala de aula, bem como a posição das sondas permanentes existentes em cada uma.

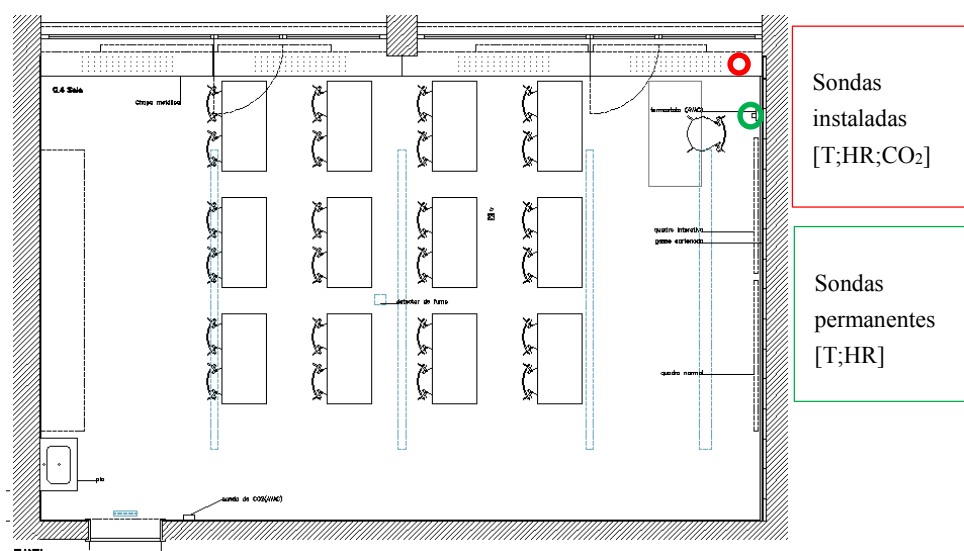


Figura 5.3 - Posição em planta das sondas instaladas para a monitorização e das sondas de temperatura e humidade relativa permanentes associadas à GTC (adaptado de [35])

Não existiu possibilidade de escolha espacial da posição em que as sondas foram instaladas, a posição foi decidida pelo responsável pelas instalações do estabelecimento monitorizado. Estas ficaram colocadas em cada sala, no canto junto à janela do lado do quadro, sobre a bancada metálica, a aproximadamente 1,1 metros na vertical da cota do pavimento, de forma a ficarem a uma altura próxima da altura da cabeça de um ocupante, quando sentado, posição corporal em que os alunos permanecem, por maior período de tempo. Esta foi também a posição utilizada na monitorização anterior [44] das salas reabilitadas 01 e 02 do mesmo corpo, salas também monitorizadas no presente trabalho.

Apesar das sondas de temperatura e CO₂ terem ficado numa posição em que ficam por vezes sujeitas a radiação solar direta, e nas imediações de uma zona de trocas convectivas significativas com um dos radiadores, podendo assim adquirir temperaturas superiores à média de toda a sala de aula, este local é também um dos que sofre registos de temperaturas inferiores, em dias em que a temperatura exterior é baixa, exatamente por se encontrar junto à envolvente exterior, particularmente junto aos vãos envidraçados, componente com maiores trocas térmicas do conjunto e ainda por se encontrar na zona da sala onde se faz a admissão de ar novo, este à temperatura exterior.

Por estas razões, mesmo não sendo a posição adotada a ideal, mas não se tendo escolha, esperava-se ainda assim conseguir simular a posição do aluno que se senta mais próximo à janela, já que esta posição é propícia a amplitudes térmicas mais elevadas, gerando situações de desconforto térmico geral e localizado mais prolongadas e com maior frequência, e por isso a posição de mais difícil controle e mais exigente no interior de uma sala de aula.

De forma a corroborar esta abordagem de estudo, foi feita uma comparação entre os valores medidos com as sondas instaladas – janela – e as sondas de temperatura e humidade relativa existentes nas salas de aula, junto aos termostatos – registos.

As Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 representam esta comparação, em instantes pontuais aleatórios de dias aleatórios de janeiro e fevereiro. De forma a evitar dessincronizações dos relógios entre as diferentes sondas e possíveis efeitos pontuais, os valores das sondas instaladas utilizados na comparação resultam da média dos valores em torno dos instantes em causa, num intervalo de ± 10 minutos.

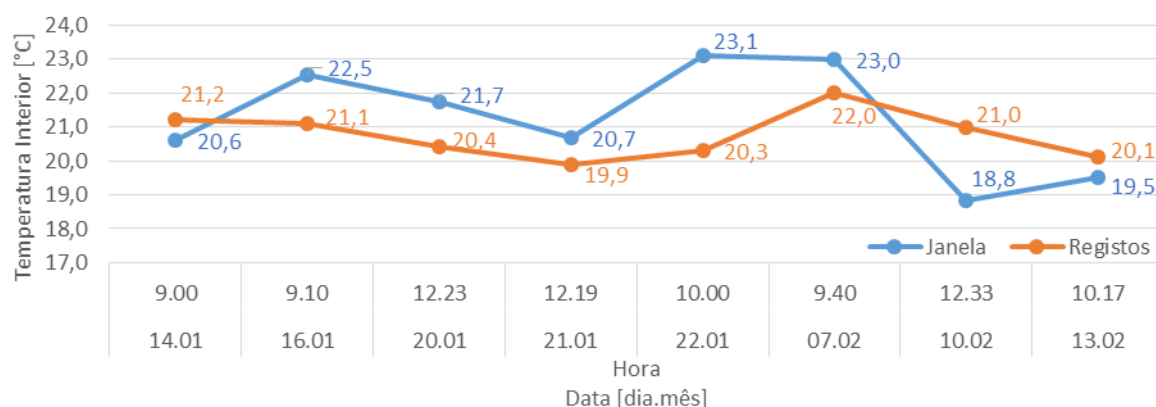


Figura 5.4 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 01

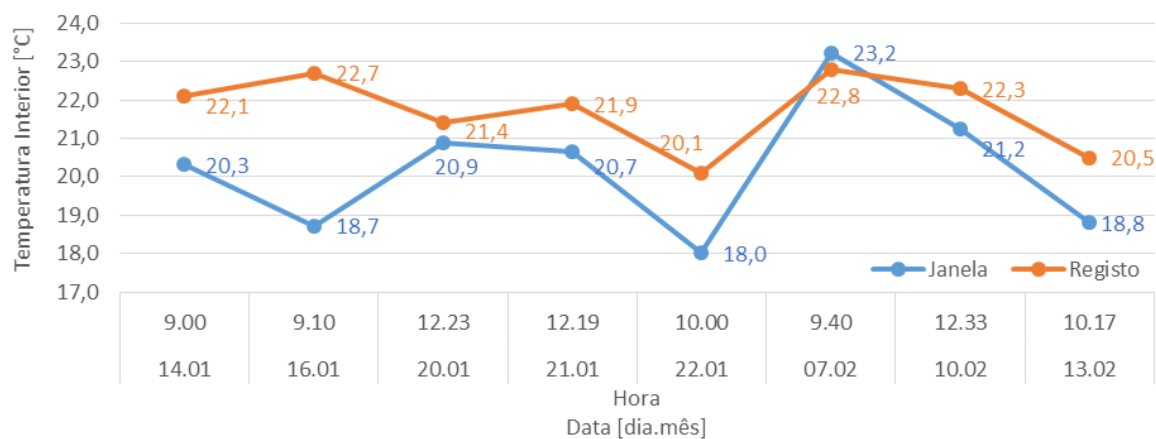


Figura 5.5 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registos, na sala 02

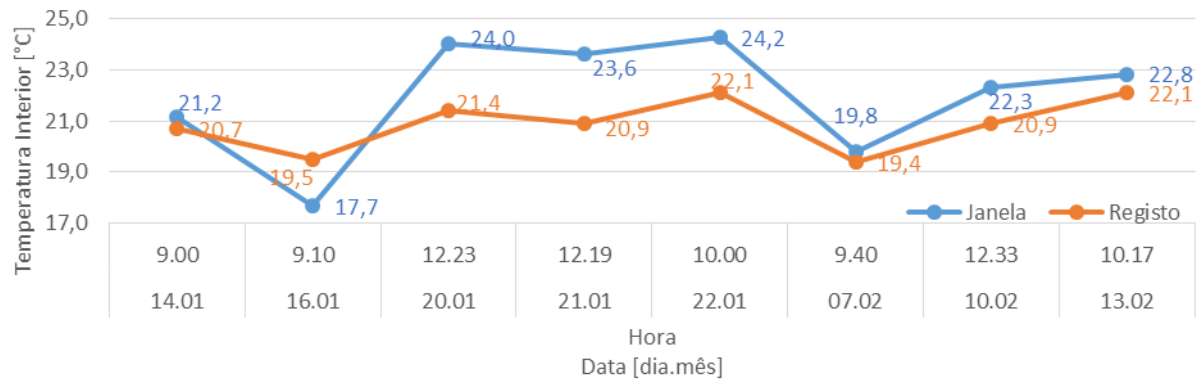


Figura 5.6 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registros, na sala 21

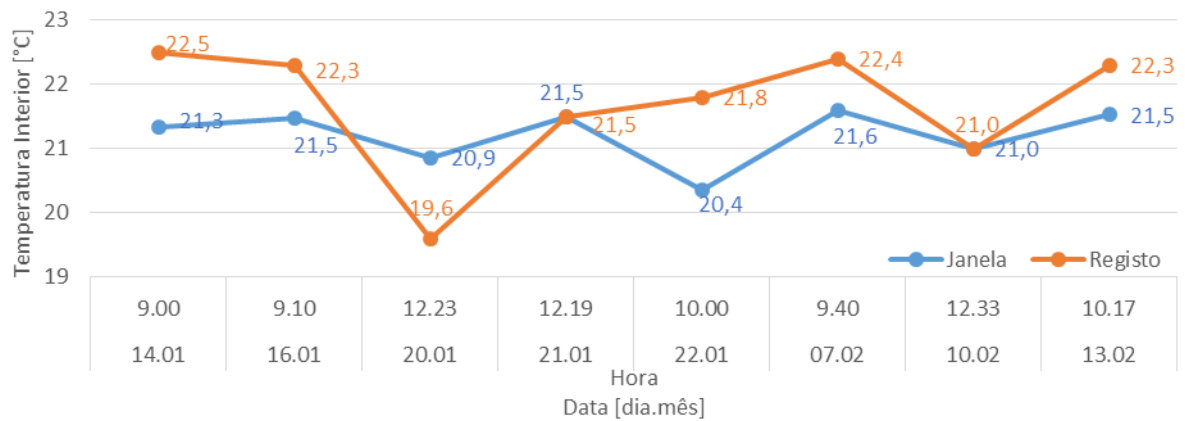


Figura 5.7 - Temperaturas pontuais aleatórias em período letivo lidas pelas sondas instaladas – janela – e pelas sondas permanentes – registros, na sala 22

Como se pode verificar, não existe uma tendência única, existindo em todas as salas de aula, registros de temperaturas superiores nas sondas permanentes que nas instaladas, para o estudo, e vice-versa.

Todos os dados apresentados correspondem a valores dentro de horário letivo com ocupação, que foi considerado em todas as salas, das 8:00 às 16:00 de segunda a sexta-feira, exceto feriados e férias escolares. Os horários de ocupação das salas monitorizadas, fornecido pela instituição, pode ser consultado no anexo II.

A Figura 5.8 retrata as amplitudes térmicas máximas entre as leituras das sondas instaladas – janela – e as leituras das sondas permanentes – registros.

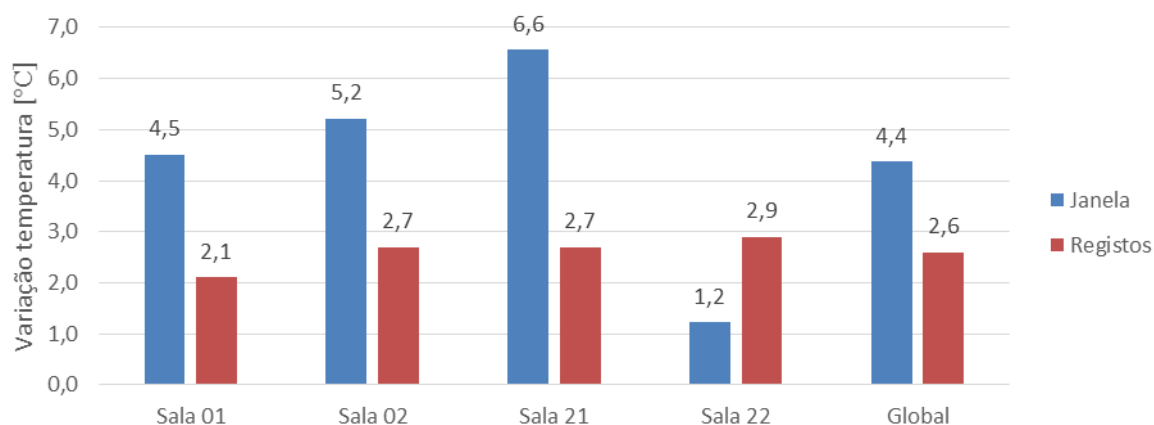


Figura 5.8 - Amplitudes térmicas máximas dos conjuntos de temperaturas aleatórias lidas por cada sonda, em cada sala de aula do Caso de Estudo

É evidente a prevalência de uma maior amplitude térmica nos registos das sondas instaladas que nos das sondas permanentes, como referido atrás, provando a maior exigência da posição de um aluno sentado junto à janela que qualquer outra posição da sala.

5.4. CONDIÇÕES EXTERIORES

As Figuras 5.9 e 5.10 ilustram as leituras de temperatura e humidade relativa exterior, ao longo do período em estudo, realizadas em intervalos de 10 minutos, pela estação meteorológica do Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Os dados não presentes dizem respeito às férias escolares de Natal e da Páscoa.

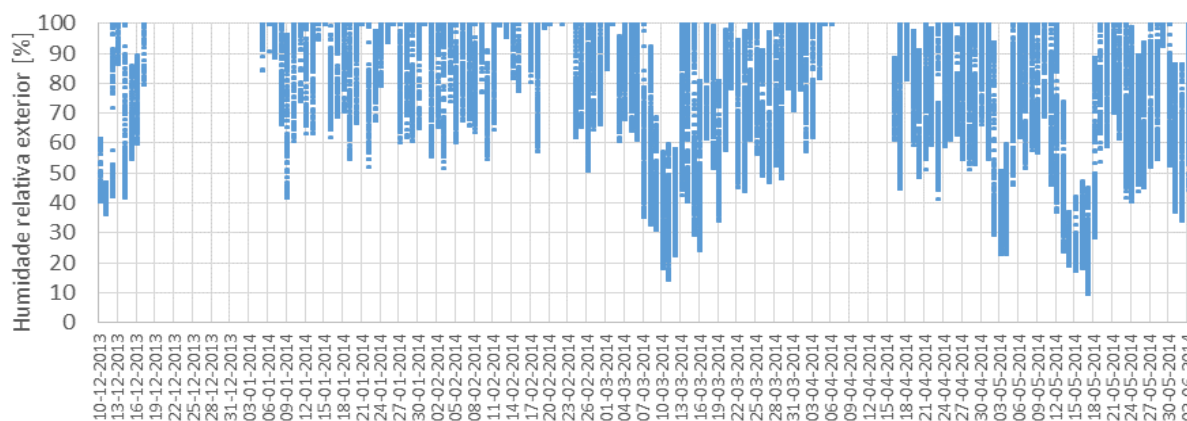


Figura 5.9 - Humidade relativa exterior durante o período de monitorização

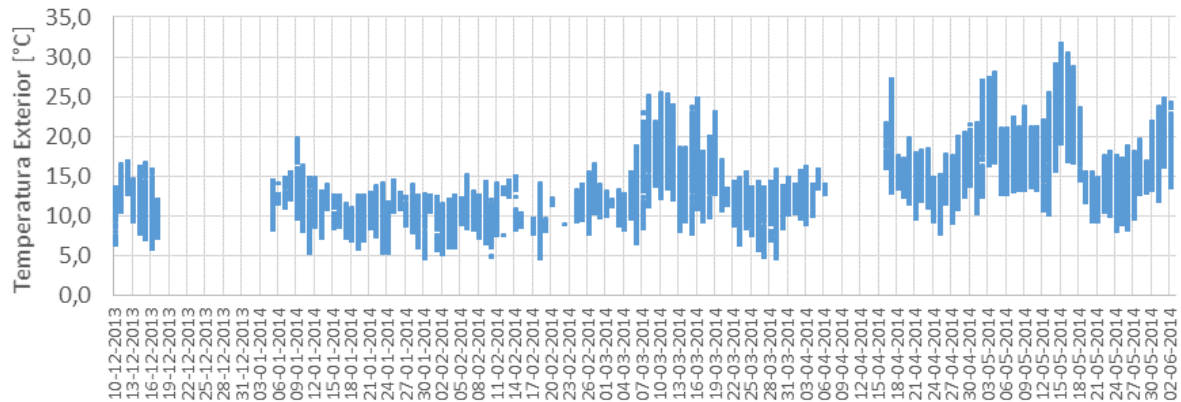


Figura 5.10 - Temperatura exterior durante o período de monitorização

O mês de março de 2014 foi anormalmente quente, com temperaturas máximas superiores, em mais de 5°C, às do período homólogo de 2013. O mês de maio de 2014 foi marcado por uma pluviosidade anormalmente superior ao valor desse mês, no ano anterior, e também as amplitudes térmicas mensais revelaram-se substancialmente maiores que em igual período de 2013.

5.5. RESULTADOS, COMPARAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

5.5.1. ENQUADRAMENTO

Depois de recolhidos os dados, tendo em conta as condicionantes normais de um estabelecimento escolar e a metodologia adotada, numa etapa prévia à exposição de resultados e interpretações, foram analisados ao detalhe dias com ocorrências pouco representativas do comportamento global das salas de aula.

As Figuras 5.11 e 5.12 são representativas deste tipo de ocorrências.

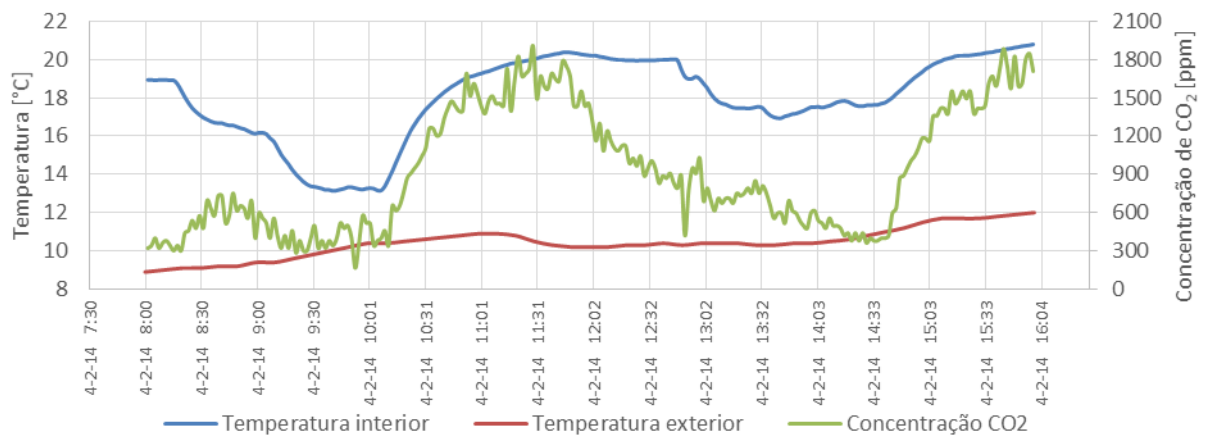


Figura 5.11 - Evolução da temperatura interior, exterior e concentração de CO₂ ao longo do período de ocupação teórico de um dia letivo com temperaturas interiores anormalmente baixas, na sala 21

O gráfico apresentado revela que certos períodos letivos são considerados para o comportamento global, mesmo quando o sistema de aquecimento não está em funcionamento por opção dos ocupantes. Neste tipo de caso, as temperaturas excessivamente baixas resultam da não ativação do sistema de

aquecimento, de a sala não ter a ocupação prevista, e possivelmente, pela conjugação deste fator com janelas abertas.

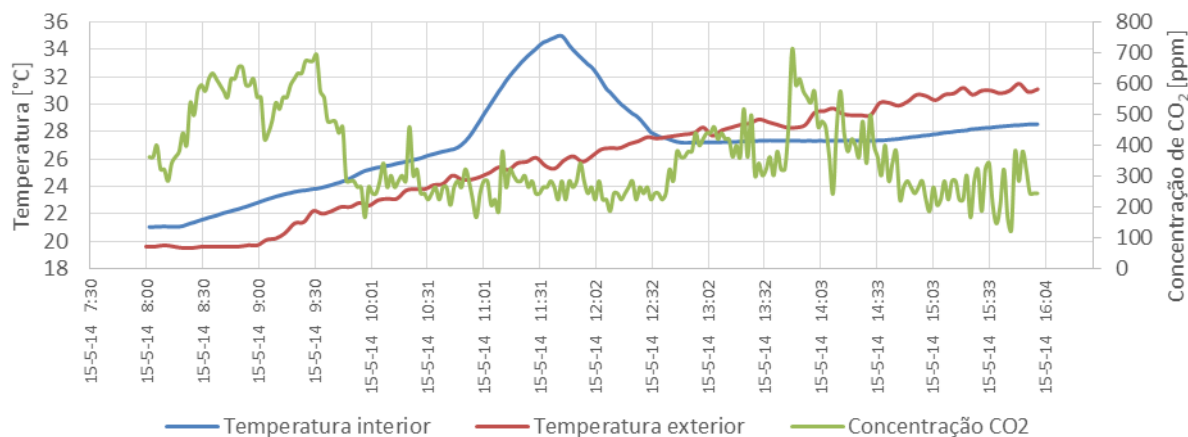


Figura 5.12 - Evolução da temperatura interior, exterior e concentração de CO₂ ao longo do período de ocupação teórico de um dia letivo com temperaturas interiores anormalmente altas, na sala 21

O gráfico acima revela que, mesmo sem temperaturas exteriores muito elevadas, as temperaturas interiores sofrem picos máximos excessivamente altos, o que, descartando-se trocas convectivas com radiadores por não se estar em estação de aquecimento, muito provavelmente dever-se-ão a radiação solar direta incidente nas sondas.

Estas situações não são representativas do comportamento térmico global das salas monitorizadas e apesar de serem pontuais nas salas do piso 0, não se verifica o mesmo para as salas do piso 2. No piso 2 este tipo de situação é recorrente em ambas as estações de aquecimento e arrefecimento, pelo que a posição escolhida para a colocação das sondas terá comprometido toda a análise nas salas monitorizadas deste piso.

Enquanto no estudo anterior [44], nas salas do piso 2, ainda não reabilitadas à época, as sondas foram instaladas em estantes junto à parede interior e em balcões ao fundo da sala por razões de disponibilidade de tomadas elétricas, no atual estudo, em que as salas já se encontravam reabilitadas, as sondas, foram instaladas na posição requerida pelo responsável pelas instalações, ou seja a mesma posição em que as sondas das salas 01 e 02 do piso 0 foram instaladas, tanto no atual estudo, como no anterior.

Por estas razões, aos dados recolhidos em cada sala de aula monitorizada do piso 0, foi feita uma truncagem aos percentis 2% e 98% de todas as leituras recolhidas de forma a suprimir estas leituras anómalas dos resultados apresentados. Quanto às salas do piso 2 as leituras anómalas de temperatura interior tomam proporções de tal ordem que inviabilizam a utilização destes dados para qualquer análise do comportamento térmico fidedigna.

5.5.2. TEMPERATURA INTERIOR

Por razões de interpretação de dados e organização de leituras, a análise às temperaturas interiores tem o seguinte esquema, por sala: uma primeira abordagem com todas leituras dentro do período letivo em estudo, e uma segunda abordagem com frequências relativas e acumuladas no global, estação de

aquecimento e estação de arrefecimento. Para cada sala são feitas comparações com os dados tratados no estudo anterior [44], pela monitorização de salas de aula no mesmo corpo do Caso de Estudo. A escala de conforto térmico utilizada na análise dos dados de temperatura foram considerados três níveis de satisfação: satisfatório (+), medianamente satisfatório (\pm), insatisfatório (-) (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Escala de conforto térmico pretendido nas salas de aula reabilitadas do Caso de Estudo

Escala	Intervalos					
	(+) Satisfatório	(\pm) Medianamente satisfatório	(-) Insatisfatório			
Temperatura [°C]	<18	18 – 20	20 – 23	23 – 25	25 – 27	>27
Global	-	\pm	+	+	\pm	-
Estação aquecimento	-	\pm	+	\pm	-	-
Estação arrefecimento	-	-	+	+	\pm	-

Os valores lidos de temperatura, nas salas 01 (Figuras 5.13, 5.14, 5.16 e 5.17) e 02 (Figuras 5.18, 5.19, 5.21 e 5.22), são os seguintes. Nas Figura 5.15 e 5.20 estão indicadas as frequências relativas e acumuladas das temperaturas exteriores medidas no estudo anterior nas mesmas salas, 01 e 02 [44].

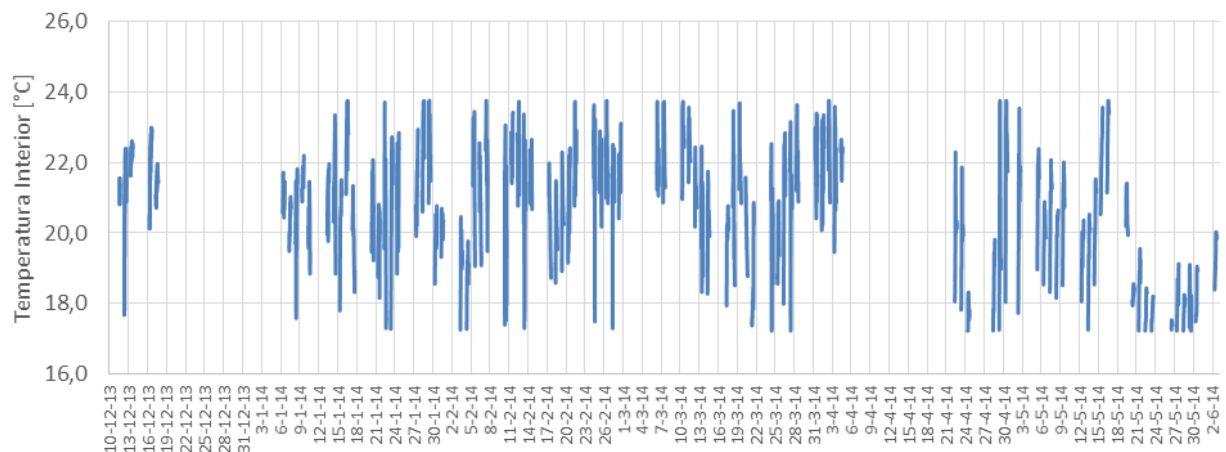


Figura 5.13 - Temperatura interior registrada na sala 01 ao longo do período letivo monitorizado

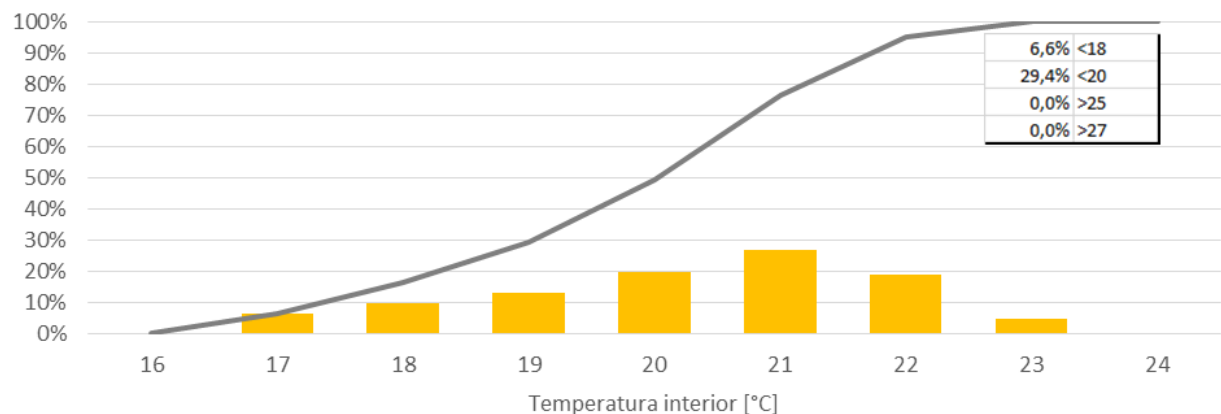


Figura 5.14 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registradas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado

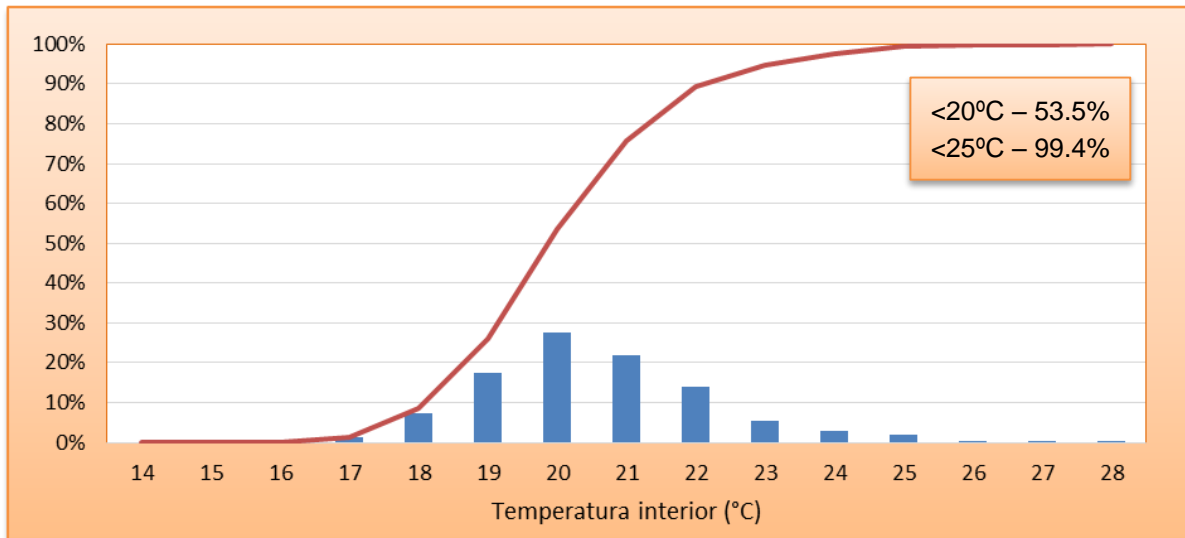


Figura 5.15 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

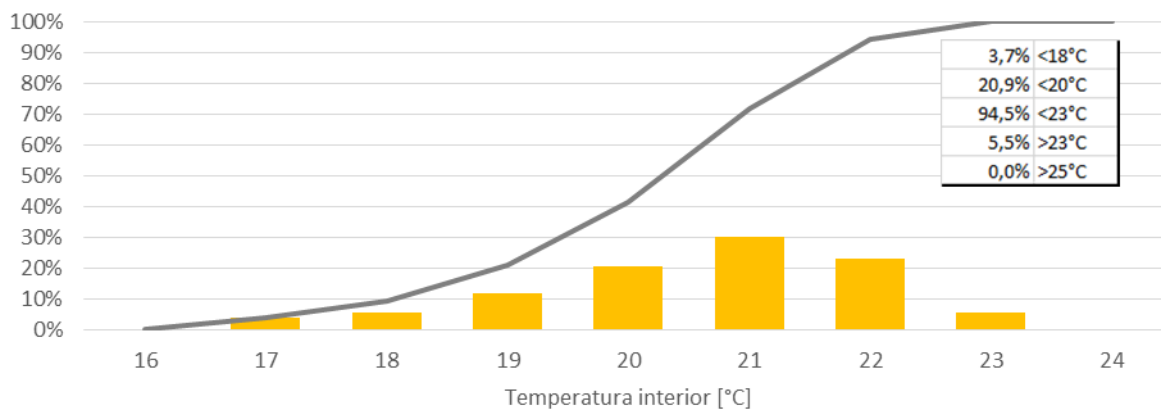


Figura 5.16 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em estação de aquecimento do período letivo monitorizado

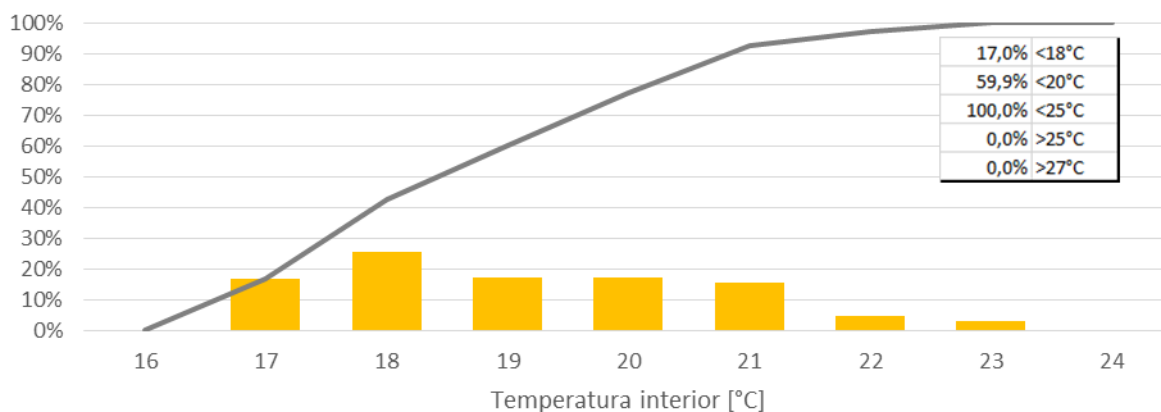


Figura 5.17 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 01 em estação de arrefecimento do período letivo monitorizado

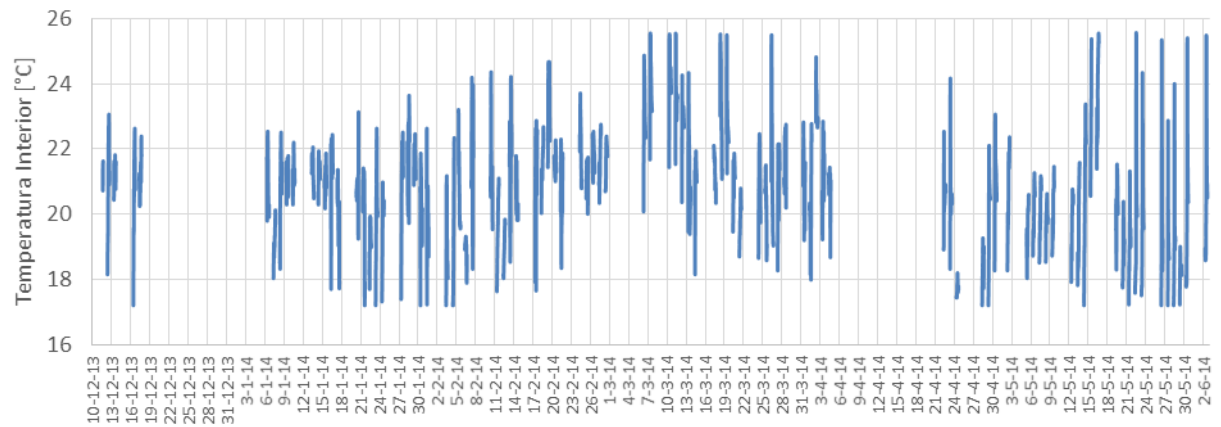


Figura 5.18 - Temperatura interior registrada na sala 02 ao longo do período letivo monitorizado

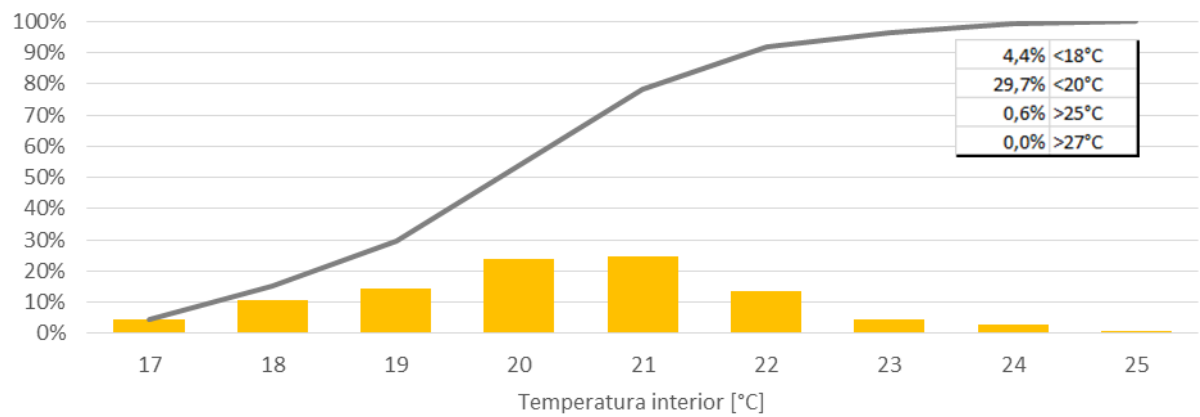


Figura 5.19 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registradas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado

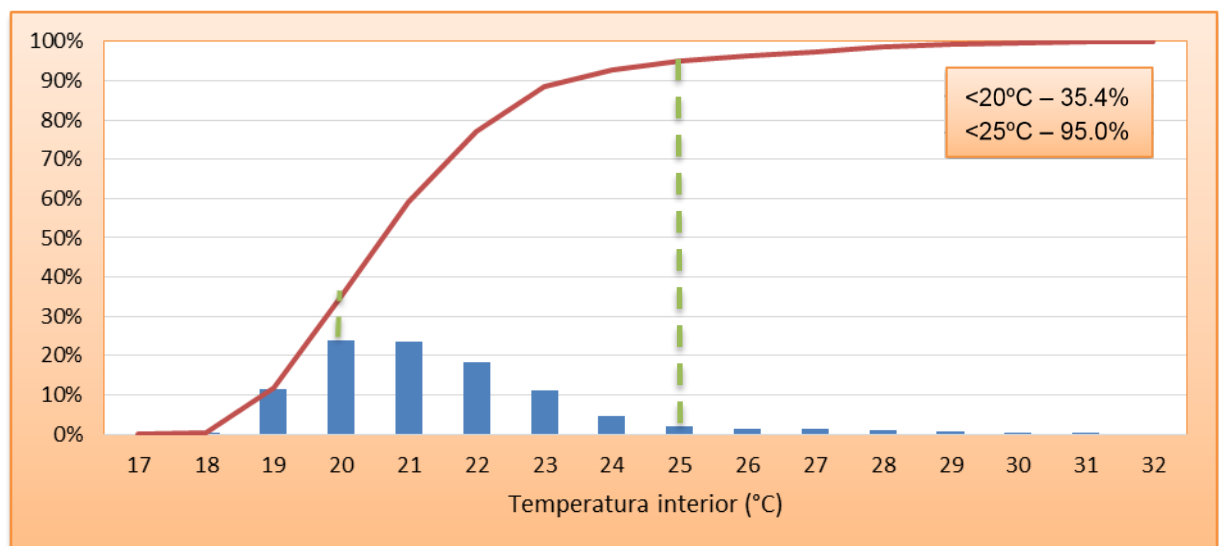


Figura 5.20 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registradas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

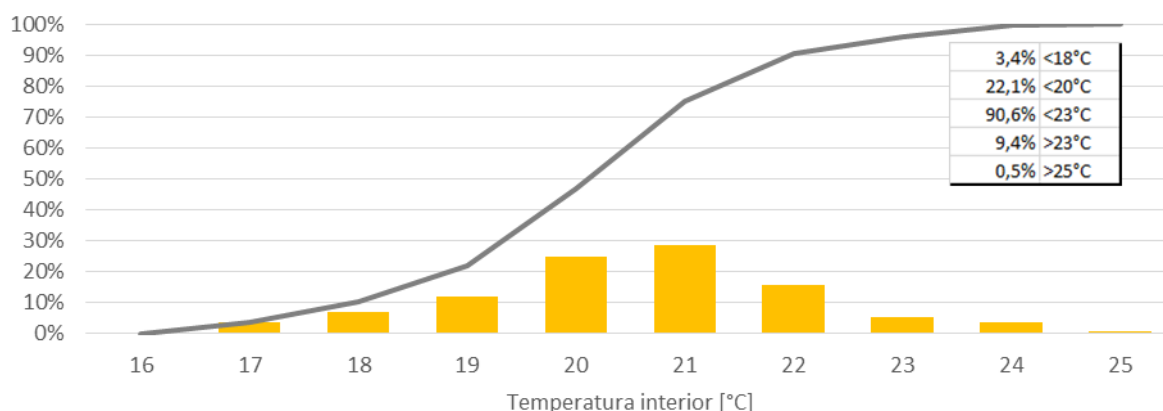


Figura 5.21 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em estação de aquecimento do período letivo monitorizado

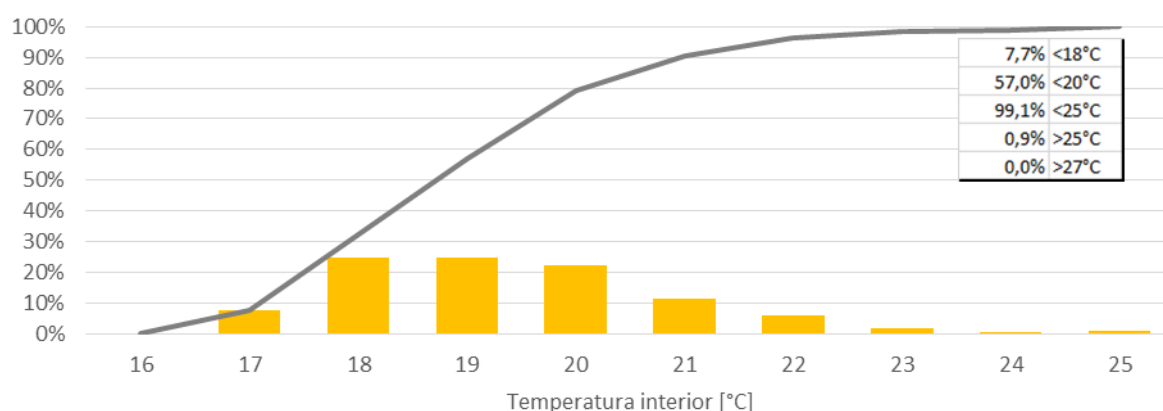


Figura 5.22 - Frequências relativas e acumuladas das temperaturas interiores registadas na sala 02 em estação de arrefecimento do período letivo monitorizado

De uma forma global, as salas 01 e 02 apresentam comportamentos muito similares. Ambas registam um reduzido tempo de ocupação com temperaturas inferiores a 18°C durante a estação de aquecimento, mas ao contrário do que seria de esperar estas durações aumentam na estação de arrefecimento.

Também os períodos letivos com temperaturas entre os 18°C e os 20°C são superiores ao que seria de esperar, novamente mais frequentes em estação de arrefecimento que em estação de aquecimento. Os períodos com sobreaquecimento são temporal e qualitativamente pouco significativos na estação de aquecimento e inexistentes na estação de arrefecimento.

Num registo geral, o comportamento destas duas salas, durante a estação de aquecimento revela-se mais satisfatório que durante a estação de arrefecimento. Em média as salas 01 e 02 cumprem os limites regulamentares, com temperaturas interiores entre os 20°C e os 25°C, em 70,6% e 69,7% do tempo de ocupação, respetivamente.

Comparativamente às leituras feitas no estudo anterior [44] nas mesmas salas, já reabilitadas na altura, com as sondas na mesma posição espacial, estas apresentam um comportamento bastante semelhante para o período de monitorização anual comum, ou seja, de 15 de março a 31 de maio. A diferença de percentagens de temperaturas inferiores a 20°C deve-se a dois fatores:

- No trabalho referido, o mês de maio representa 5 das 9 semanas do período de estudo, praticamente metade do período total, e no presente trabalho o mesmo mês representa 5 das 25 semanas monitorizadas.

- A maior percentagem de temperaturas inferiores a 20°C verifica-se no mês de maio, ou seja o período letivo monitorizado em estação de arrefecimento.

A Tabela 5.2 resulta do tratamento estatístico das leituras apresentadas.

Tabela 5.2 - Tratamento estatístico das leituras de temperatura interior e intervalos de conforto térmico nas salas de aula monitorizadas

T [°C]	Sala 01			Sala 02		
	Global	Aquecimento	Arrefecimento	Global	Aquecimento	Arrefecimento
Média	20,8	21,1	19,6	20,8	21,1	19,9
D. Padrão	1,6	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5
Mínimo	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
Percentil 3%	17,6	17,9	17,4	17,8	17,9	17,8
Percentil 5%	17,8	18,3	17,5	18,1	18,2	17,8
Percentil 10%	18,3	19,1	17,7	18,6	19,0	18,2
Percentil 25%	19,7	20,2	18,2	19,7	20,2	18,7
Percentil 50%	21,0	21,3	19,4	20,9	21,1	19,7
Percentil 75%	22,0	22,1	20,8	21,8	22,0	20,8
Percentil 90%	22,6	22,7	21,7	22,8	22,9	21,9
Percentil 95%	23,0	23,0	22,4	23,6	23,8	22,5
Percentil 97%	23,2	23,2	22,9	24,1	24,2	23,2
Máximo	23,8	23,8	23,8	25,6	25,6	25,6
Intervalos [%]	Global	Aquecimento	Arrefecimento	Global	Aquecimento	Arrefecimento
T < 18°C	6,6	3,7	17,0	4,4	3,4	7,7
T ∈ [18°C;20°C]	22,9	17,2	43,0	25,4	18,6	49,3
T ∈ [20°C;23°C]	65,6	73,6	37,2	62,2	68,5	39,6
T ∈ [23°C;25°C]	4,9	5,5	2,9	11,9	8,9	2,5
T ∈ [25°C;27°C]	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5	0,9
T > 27°C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

A Figura 5.23 sintetiza as frequências acumuladas de temperaturas interiores nas salas 01 e 02 ao longo de todo o período de monitorização.

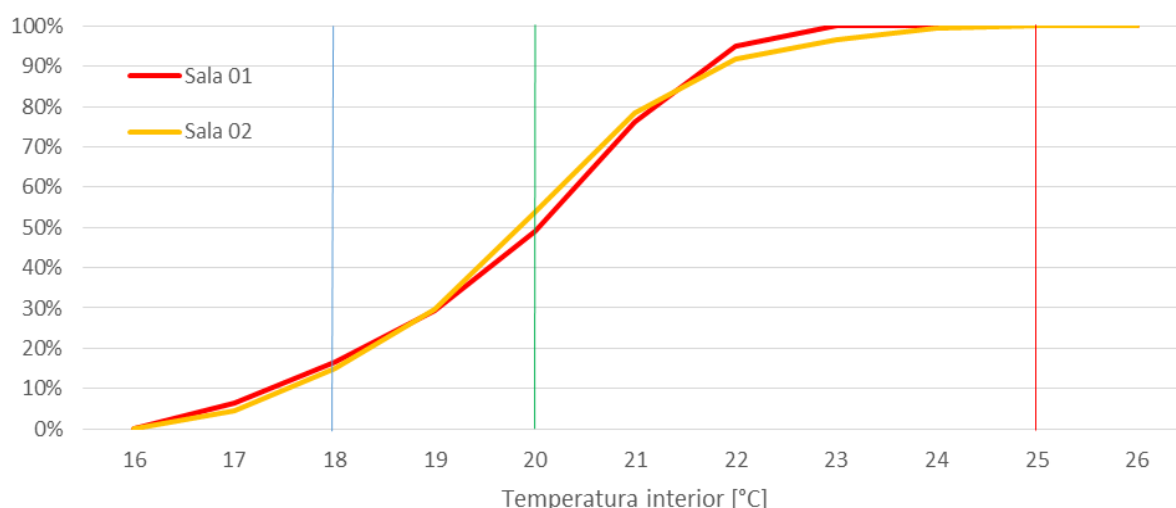


Figura 5.23 - Frequências acumuladas das temperaturas interiores de todo o período letivo das salas monitorizadas do piso 0

A observação dos gráficos e tabela apresentados permite tirar várias conclusões:

- Tendo em conta que existe a possibilidade de controlo da temperatura em cada sala de aula, pela regulação do termostato dos radiadores para temperaturas num intervalo de 18°C a 22°C, durante a estação de aquecimento, a percentagem significativa que se regista de temperaturas entre os 18°C e os 20°C nesta estação, parece apontar que este intervalo de temperaturas confere condições de conforto térmico aos ocupantes, admitindo o correto dimensionamento do sistema de aquecimento.
- O funcionamento do sistema de aquecimento deve ser permitido além do limite atual de 30 de abril, devido à elevada percentagem que se verifica de temperaturas inferiores a 18°C, durante o mês de maio.
- Numa próxima monitorização dever-se-á pensar numa nova posição espacial das sondas dentro das salas de aula, não só para se cruzarem essas leituras, com as deste trabalho e as do anterior a este [44] e se retirarem conclusões relevantes, mas também para que o registo de leituras anómalas tenha uma frequência significativamente menor ou nula.

5.5.2. HUMIDADE RELATIVA INTERIOR

Os valores lidos de humidade relativa, em cada sala, são os seguintes (Figuras 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27).

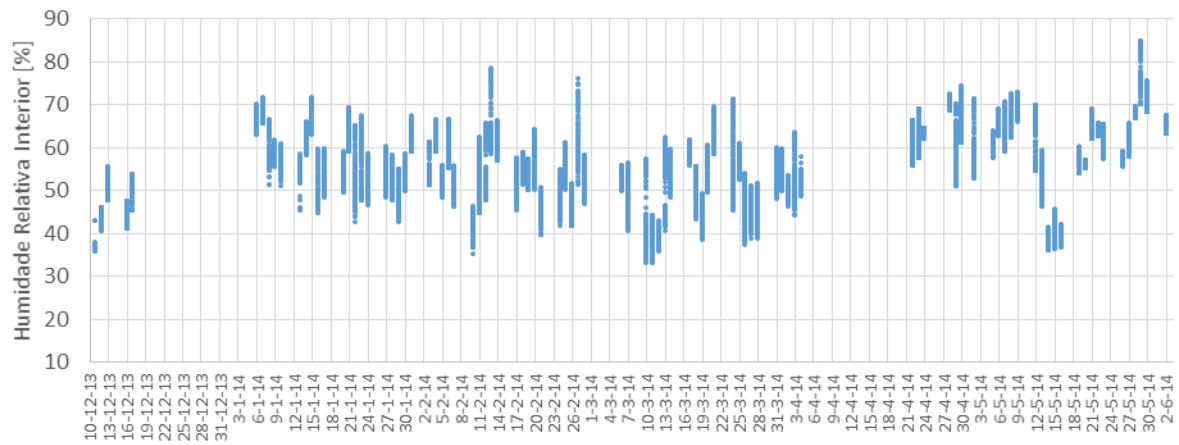


Figura 5.24 - Humidade relativa interior registada na sala 01 ao longo do período letivo monitorizado

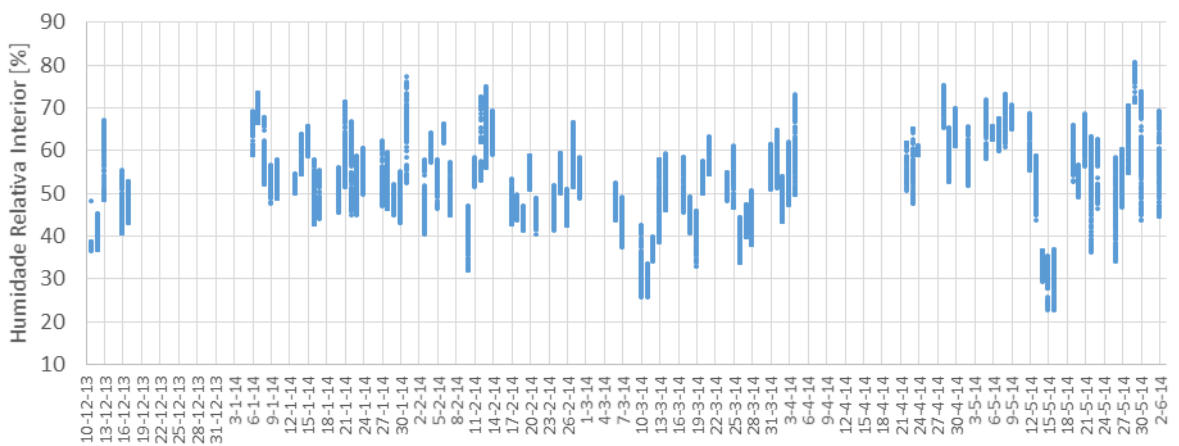


Figura 5.25 - Humidade relativa interior registada na sala 02 ao longo do período letivo monitorizado

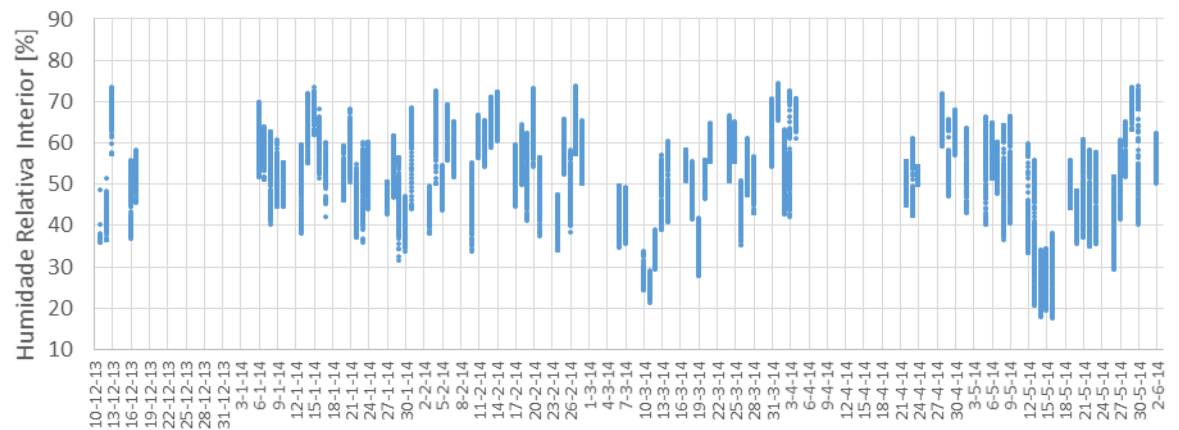


Figura 5.26 - Humidade relativa interior registada na sala 21 ao longo do período letivo monitorizado

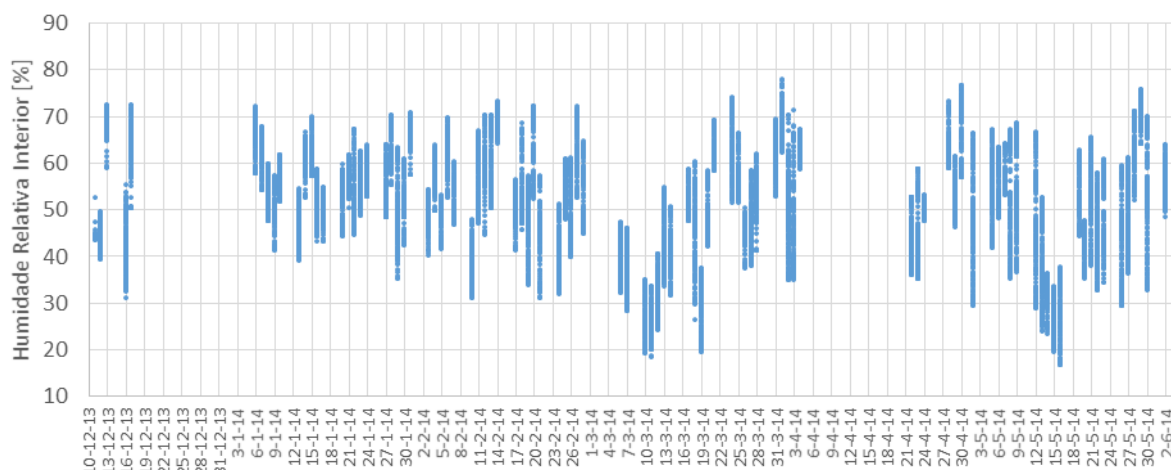


Figura 5.27 - Humidade relativa interior registada na sala 22 ao longo do período letivo monitorizado

A Tabela 5.3 resulta do tratamento estatístico das leituras apresentadas.

Tabela 5.3 - Tratamento estatístico das medições de humidade relativa interior e intervalos de conforto nas salas de aula monitorizadas

HR [%]	Sala 01	Sala 02	Sala 21	Sala 22	Médias totais
Média	55	53	52	52	53
Desvio Padrão	9	10	11	11	10
Mínimo	33	23	18	17	22
Percentil 5 %	40	35	30	30	34
Percentil 10 %	43	41	38	36	40
Percentil 25 %	49	47	46	45	47
Percentil 50 %	55	54	53	52	54
Percentil 75 %	62	60	60	60	61
Percentil 90 %	67	66	65	66	66
Percentil 95 %	69	69	68	68	69
Máximo	85	80	74	78	79
HR [30%;60%]	68	73	71	71	70

Da análise dos valores da humidade relativa lidos, conclui-se que o comportamento das salas reabilitadas, tanto no piso 0 como no piso 2, é muito semelhante, tendo médias e desvios padrões muito próximos. O risco de condensações superficiais é nulo em todas as salas, como seria de esperar devido aos caudais de ventilação envolvidos. Em todas as salas, em média, a HR situa-se entre os 30 e os 60 % durante cerca de 70 % do tempo de ocupação avaliado, valor recomendado pela ASHRAE. Este intervalo é bastante exigente pelo que o valor medido é bastante satisfatório.

5.5.3.CONCENTRAÇÃO INTERIOR DE DIÓXIDO DE CARBONO

A fragilidade do conjunto de equipamentos de medição e registo de concentrações de CO₂, por englobar cablagem entre os mesmos e, principalmente, por necessidade de manter os equipamentos Telaire

ligados à corrente elétrica, para efetuarem medições, resultou na perda de alguns dados. Devido a vandalismo na sala 22, estes equipamentos sofreram avarias e as leituras ficaram comprometidas pelo que os dados desta sala não foram utilizados.

As Figuras 5.28, 5.30 e 5.32 apresentam as frequências relativas e acumuladas das concentrações de dióxido de carbono registadas nas salas de aula durante o período de monitorização. As Figuras 5.29, 5.31, 5.33 e 5.34 mostram as frequências relativas e acumuladas das concentrações de dióxido de carbono registadas, em salas de aula do mesmo corpo, no estudo anterior [44].

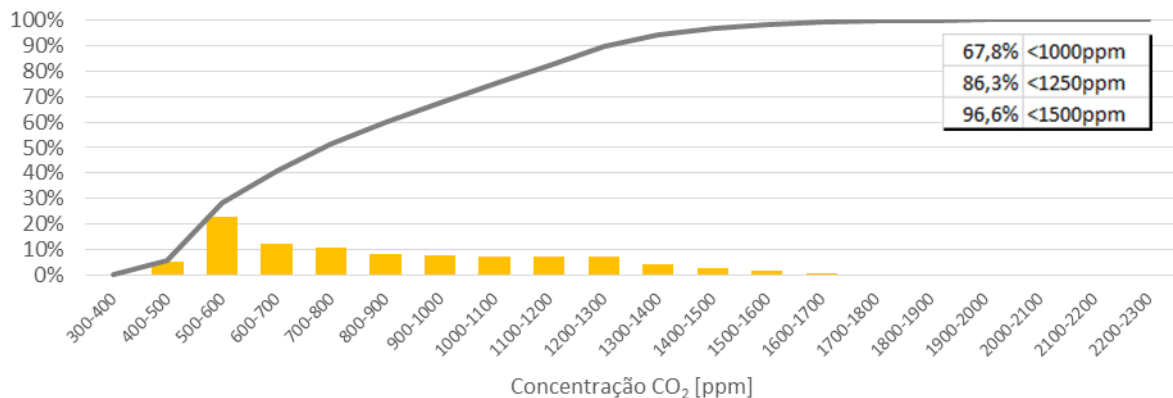


Figura 5.28 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registadas na sala 01 durante todo o período letivo monitorizado

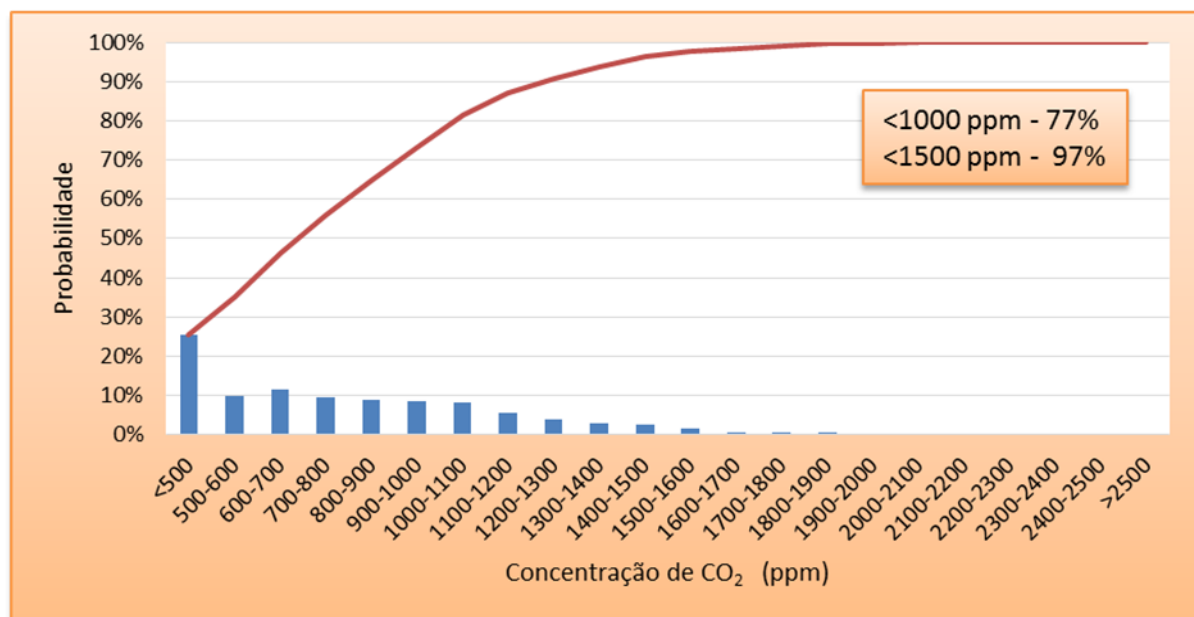


Figura 5.29 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registadas na sala 01 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

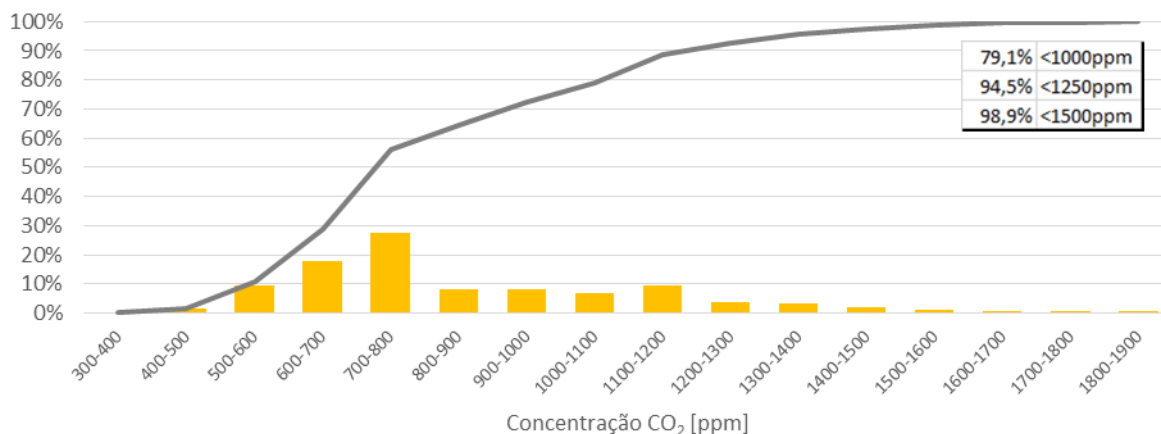


Figura 5.30 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registradas na sala 02 durante todo o período letivo monitorizado

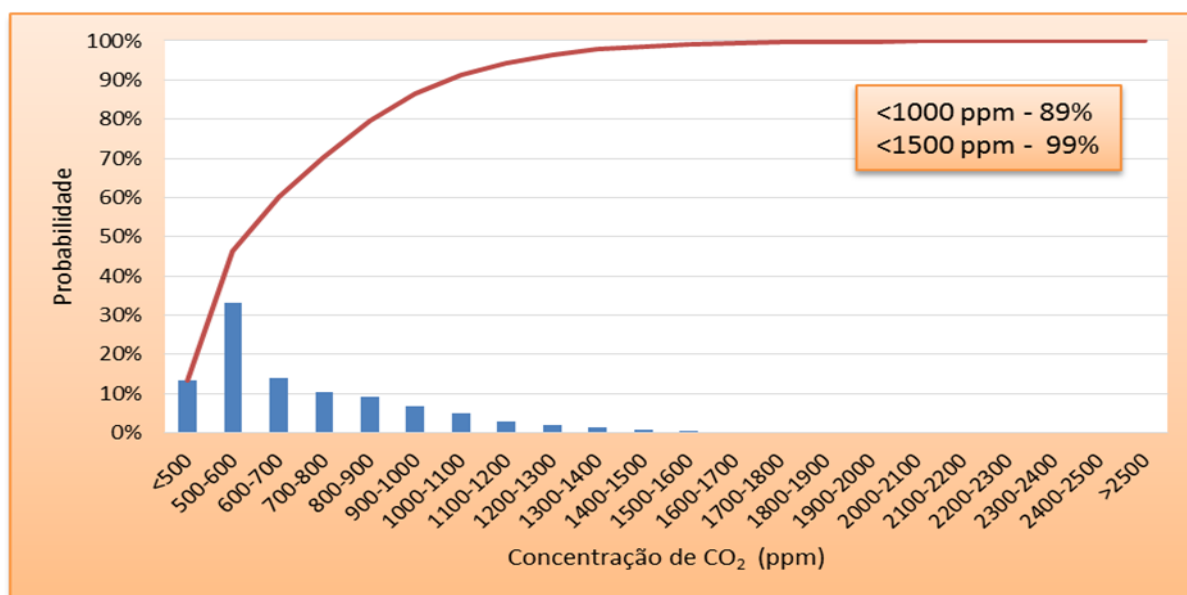


Figura 5.31 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registradas na sala 02 em todo o período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

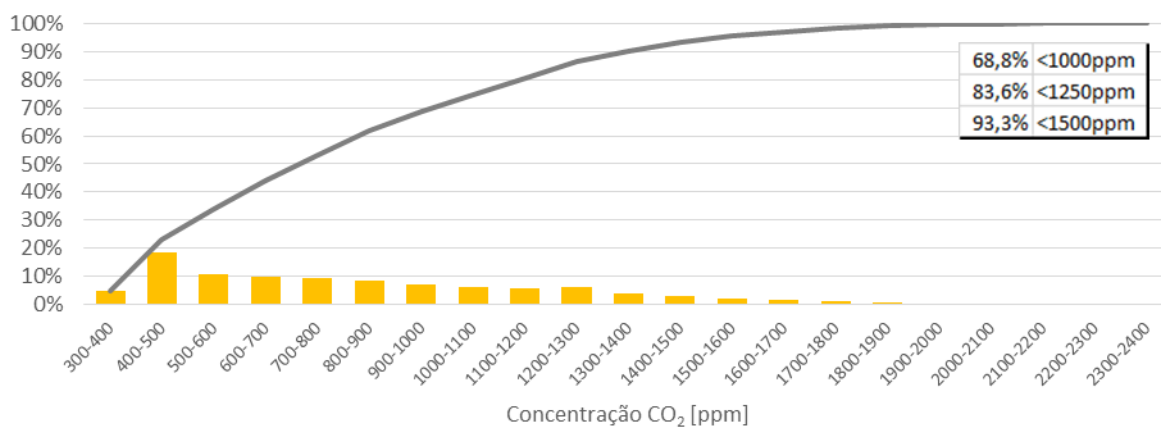


Figura 5.32 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registradas na sala 21 durante todo o período letivo monitorizado

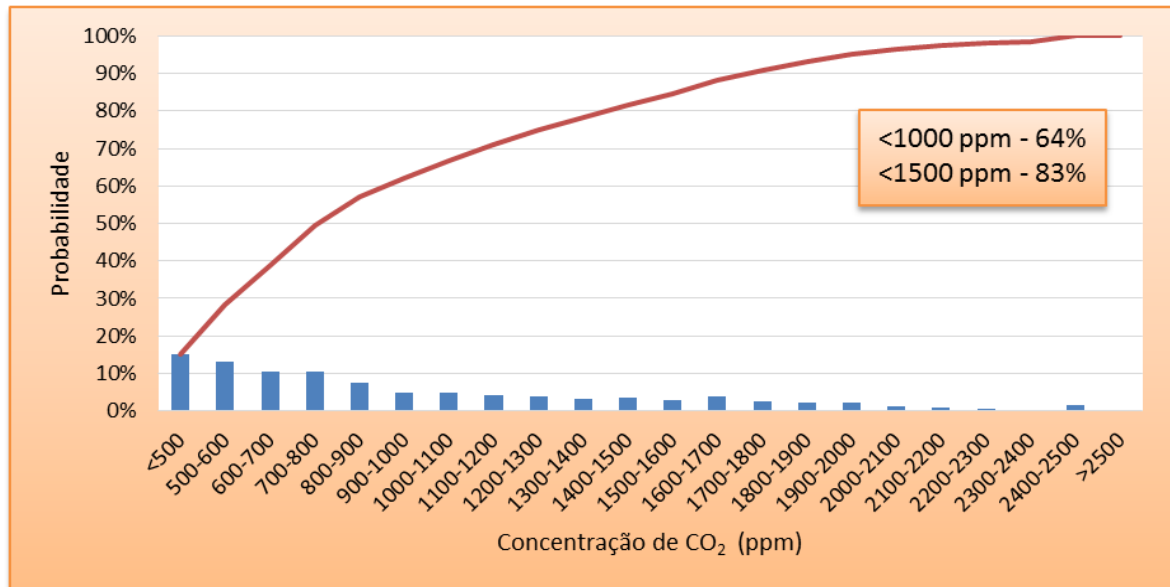


Figura 5.33 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registadas na sala 206, atual 24, no período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

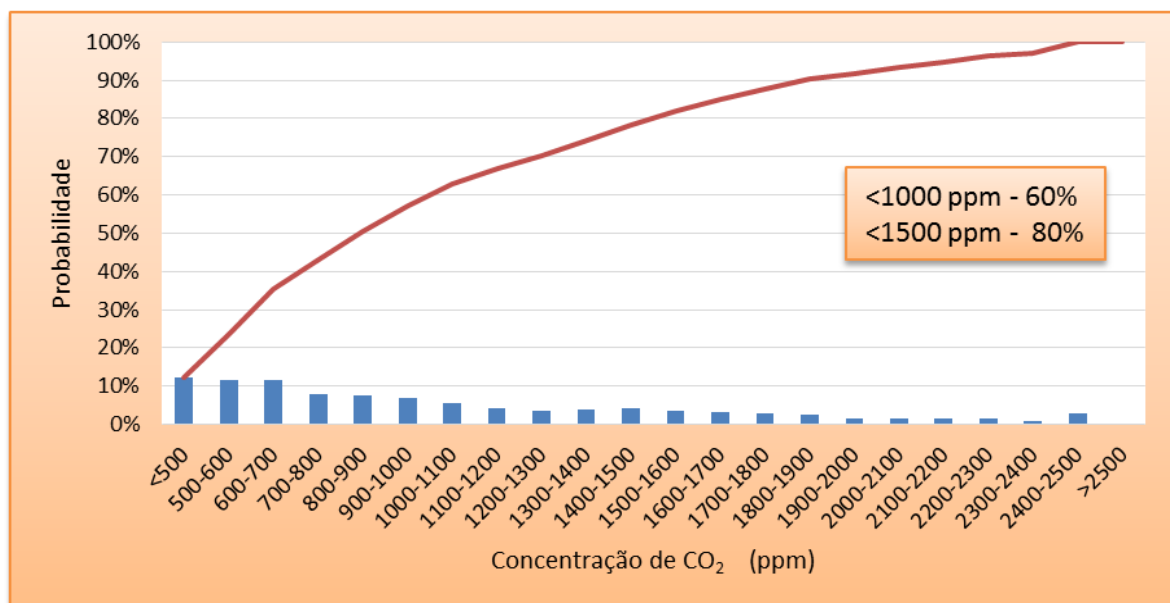


Figura 5.34 - Frequências relativas e acumuladas das concentrações de CO₂ interiores registadas na sala 207, atual 24, no período letivo monitorizado do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

Por motivos de compreensão e posicionamento espacial, a Figura 5.35 situa as salas monitorizadas no estudo anterior [44], que não foram monitorizadas no presente estudo.

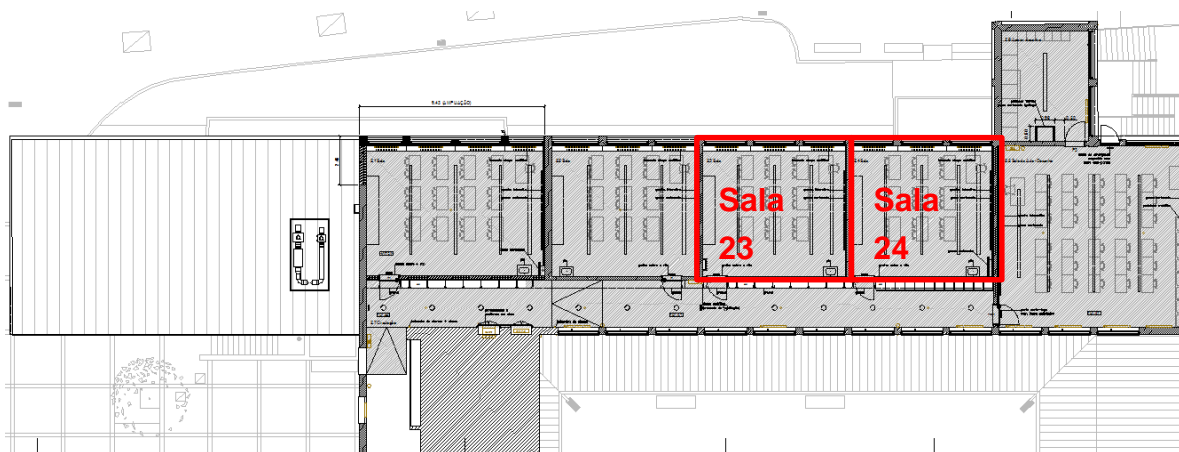


Figura 5. 35 - Atual nomenclatura das salas de aula do piso 2 monitorizadas no estudo anterior no edifício do Caso de Estudo (adaptado de [35])

Como se pode verificar, durante cerca de 90% e 85% do tempo, nas salas do piso 0 e na sala 21, respetivamente, as concentrações de CO₂ encontram-se abaixo dos valores regulamentares do RECS, de 1250 ppm, em condições de valores de pico.

Uma análise tendo em conta os limites da regulamentação do Reino Unido e Alemanha, de 1500 ppm para a concentração de CO₂, as percentagens de cumprimento para as salas do piso 0 e para a sala 21 monitorizadas rondam os 98% e os 93% do tempo, respetivamente.

A Tabela 5.4 resulta do tratamento estatístico das leituras apresentadas.

Tabela 5.4 - Tratamento estatístico das leituras de concentração de CO₂ interior e intervalos relevantes nas salas de aula monitorizadas

Concentração CO ₂ [ppm]	Sala 01	Sala 02	Sala 21
Média	862	769	845
Desvio Padrão	314	255	380
Mínimo	322	322	380
Percentil 5 %	498	478	400
Percentil 10 %	518	498	420
Percentil 25 %	596	576	518
Percentil 50 %	792	674	772
Percentil 75 %	1084	928	1104
Percentil 90 %	1318	1124	1396
Percentil 95 %	1436	1280	1592
Máximo	2138	1846	2314
Intervalos [%]	Sala 01	Sala 02	Sala 21
Concentração < 1000 ppm	67,8	79,1	68,8
Concentração ∈ [1000ppm;1250ppm]	18,6	15,4	14,9
Concentração ∈ [1250ppm;1500ppm]	10,2	4,4	9,6
Concentração > 1500 ppm	3,4	1,1	6,7

A Figura 5.36 sintetiza as frequências acumuladas de concentrações de dióxido de carbono interiores nas salas 01, 02 e 21 ao longo de todo o período de monitorização. A Figura 5.37 indica as frequências acumuladas de concentrações de dióxido de carbono interiores nas salas 01, 02, 23 e 24 ao longo de todo o período de monitorização do estudo anterior [44].

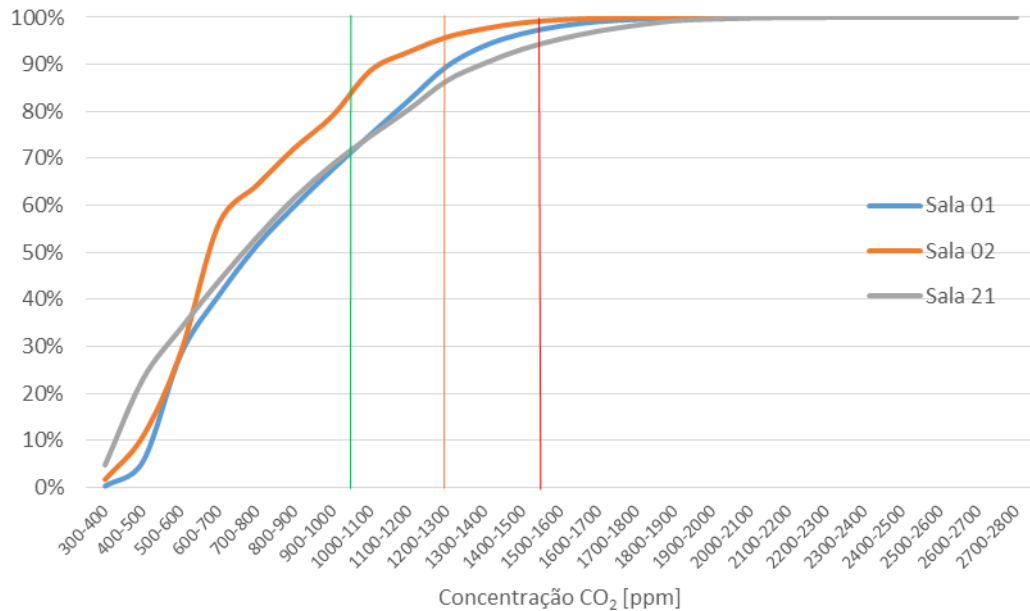


Figura 5.36 - Frequências acumuladas das concentrações de CO₂ interiores das quatro salas monitorizadas em todo o período letivo

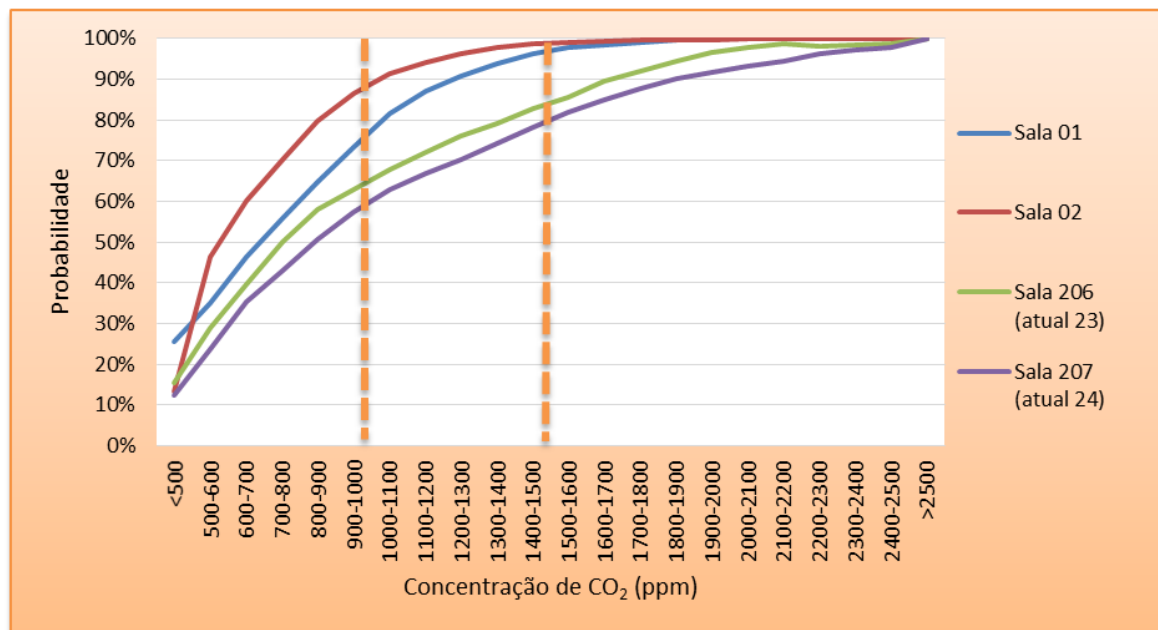


Figura 5.37 - Frequências acumuladas das concentrações de CO₂ interiores das quatro salas monitorizadas em todo o período letivo do estudo anterior no edifício do Caso de Estudo [44]

Como se pode verificar as salas 01 e 21 têm um comportamento muito semelhante. A sala 02 é a que regista concentrações de CO₂ em valores menores.

Várias razões, entre outras desconhecidas, podem justificar estas diferenças:

- As taxas de ocupação de sala para sala podem diferir.
- As salas 01 e 21 têm uma exposição às condições exteriores diferente da sala 02.

Comparativamente às leituras efetuadas por Faria [44], as salas 01 e 02, já reabilitadas à época, apresentam um comportamento praticamente igual, apresentando as duas valores muito satisfatórios para a regulamentação atual.

As salas do piso 2, agora reabilitadas, apesar de não serem as mesmas monitorizadas por Faria [44] antes as outras duas presentes no piso, são de características muito semelhantes. Na sala 21 onde foi possível retirar dados fidedignos observaram-se melhorias substanciais, comparativamente às condições prévias à reabilitação, em salas similares, para comportamentos em tudo semelhantes aos da sala 01, passando-se de cumprimentos dos valores máximos de 1000ppm e dos 1500ppm, de 60% e 80% numa situação original, para 69% e 93% depois da reabilitação, respetivamente.

No cômputo geral, a reabilitação das salas de aula, e particularmente o sistema de ventilação instalado, veio conferir um aumento substancial da QAI destas, indo ao encontro dos valores limite de concentração de CO₂ do atual RECS, na quase totalidade do período letivo de cada uma. De salientar que o sistema implantado tem custos de instalação e de exploração inferiores aos das soluções de ventilação mecânica da Parque Escolar, pela menor intrusão nos elementos construtivos e menor quantidade de equipamento necessário, e pelos caudais de funcionamento muito inferiores, 240 m³/h e 400 m³/h dependendo das necessidades, ao contrário dos 900 m³/h típicos das soluções da empresa pública.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto, desde o primeiro capítulo, a reabilitação de edifícios escolares é uma preocupação comum e crescente em países desenvolvidos. Vários estudos provam a importância do conforto térmico e qualidade do ar interior como fatores decisivos no desempenho, saúde e bem-estar dos alunos em salas de aula. A desatualização do parque escolar português para as exigências atuais, técnicas e logísticas, é uma realidade do presente e com necessidade de tomada de ação.

O esforço de entidades públicas tem obrigatoriamente de estar suportado por regulamentação adequada e flexível, de forma a ser possível dimensionar diferentes soluções para diferentes condicionantes quer técnicas, ambientais ou financeiras.

Neste último capítulo, são compiladas as conclusões tiradas ao longo do trabalho apresentado, e refletir sobre desenvolvimentos futuros de interesse nesta área de investigação e trabalho.

6.2. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Apresentam-se assim as principais conclusões:

- O parque escolar português está sobredimensionado para as necessidades futuras. Ainda que na região Norte, a NUTS II, o cenário seja menos favorável que para Portugal continental num horizonte de 5 anos, a diminuição do número total de alunos matriculados nos ciclos de ensino obrigatório acentuar-se-á na próxima década.
- Para a região Norte, a NUTS II, expeta-se uma necessidade de redução de recursos educativos equivalente a 15 estabelecimentos escolares até 2018 e 46 até 2023, do 2º e 3º CEB e do ES.
- Na região Norte, a NUTS II, das 394 escolas que lecionam 2º e 3º CEB e ES, as principais tipologias construtivas presentes, são blocos 3x3 e monobloco, revelando que a maioria do parque escolar desta região é da década de 80 ou mais recente.
- Estima-se que, a reabilitação de todos os edifícios escolares dos ciclos referidos na região Norte, a NUTS II, num cenário em que se adequem os recursos às necessidades, adotando-se um modelo semelhante ao utilizado na reabilitação do Caso de Estudo, tenha custos na ordem dos 784 M€, em relação ao custo de 1376 M€, decorrente da utilização de modelos de intervenção da empresa pública Parque Escolar. Esta alternativa resulta numa poupança de 591 M€ no total de intervenções nesta região. Caso o número de escolas não seja reduzido de forma a adaptar-se às inferiores necessidades futuras, a poupança entre os modelos será, evidentemente, maior.

- O parque escolar da União Europeia representa uma fatia significativa da área de construção total. Portugal apresenta valores superiores à média da UE.
- Numa sociedade, o setor público deve ser o setor pioneiro na reabilitação para a eficiência energética do parque edificado. Neste, os estabelecimentos escolares são um conjunto preponderante de edifícios, devido à sua similaridade construtiva e projetos tipo que o caracterizam, para que se tome uma ação inicial e se modelem estratégias para intervenções noutras áreas.
- Existe um esforço concertado entre instituições e organizações de países do sul da Europa para tentar transpor, com as adaptações necessárias, as boas práticas em reabilitação de edifícios escolares, para a eficiência energética e qualidade do ar interior, dos países do norte da Europa.
- Estudos e programas de reabilitação, em escolas de países do sul da Europa, relatam temperaturas acima dos valores esperados a meia-estação e em estação de arrefecimento e sustentam que em climas temperados mediterrânicos a ventilação natural com auxílio mecânico tem resultados muito próximos aos dos sistemas de ventilação mecânica, na manutenção da QAI.
- O parque escolar português apresenta uma constância elevada de tipologias de projeto, e soluções construtivas termicamente desatualizadas e muito aquém das exigências regulamentares atuais.
- As soluções construtivas adotadas, pela Parque Escolar, nas intervenções de reabilitação são tecnicamente atuais e cumprem a regulamentação vigente, mas revelam-se mais custosas que as soluções do Caso de Estudo reabilitado e monitorizado neste trabalho, sendo estas não inferiores no conjunto.
- As estratégias de ventilação natural, usadas na quase totalidade do parque escolar português, apresentam caudais de ar novo muito inconstantes e de nulo controlo, que não permitem conferir nem qualidade do ar interior, nem conforto térmico.
- A instalação de sistemas de ventilação e climatização puramente mecânicos, nas intervenções de reabilitação da Parque Escolar, está associada a custos iniciais, de exploração e manutenção elevados e a uma grande intrusão no edificado a reabilitar. A não possibilidade, na grande maioria das intervenções, de escalonamento dos caudais de ventilação, bem como horários de ocupação uniformes para diferentes tipos de espaços, não permite uma adequação do sistema às diferentes exigências de ocupação, agravando os custos associados.
- As alterações relevantes feitas do revogado RSECE para o atual RECS, são positivas pela flexibilização e abrandamento exigencial, particularmente de concentrações máximas de CO₂, de 1000ppm em valor de pico para 1250ppm em concentração máxima permitida (média de 8 horas), e caudais mínimos de ar novo, de 30 m³/(h.ocupante) para 24 m³/(h.ocupante), no cálculo por método prescritivo. O atual regulamento aproxima-se das exigências de normas internacionais e de outros países europeus.
- As alterações à regulamentação permitem a utilização de sistemas de ventilação predominantemente naturais, com auxílio mecânico. A sua menor intrusão construtiva e menor necessidade de equipamentos confere a estes sistemas custos iniciais muito inferiores aos de sistemas totalmente mecânicos. O controlo do fluxo de ar novo de acordo com as exigências a que o espaço esteja sujeito em dado momento, é um importante contributo para a redução dos custos de exploração, já de si inferiores aos de sistemas de ventilação puramente mecânicos.
- As leituras de temperatura, em salas de aula do Caso de Estudo, revelam que as soluções de sistemas de climatização e reabilitação da envolvente oferecem condições de conforto térmico muito satisfatórias, cumprindo os limites do RECS, temperaturas entre 20°C e 25°C, em cerca de 70%, em média, do tempo de ocupação. Mas, tendo em conta que existe a possibilidade de

controlo da temperatura em cada sala de aula, pela regulação do termostato dos radiadores para temperaturas num intervalo de 18°C a 22°C, durante a estação de aquecimento, a percentagem significativa que se regista de temperaturas entre os 18°C e os 20°C nesta estação, parece apontar que este intervalo de temperaturas confere condições de conforto térmico aos ocupantes, logo, apesar de o tempo de ocupação dentro dos limites regulamentares de temperatura não ser o melhor, o período em que existe conforto térmico é bem superior, situando-se na ordem dos 90% do período de ocupação. Estes resultados estão em linha com os obtidos em vários estudos já desenvolvidos e sustentam uma reflexão sobre permitir valores inferiores das temperaturas limites mínimas para a garantia de conforto térmico na próxima versão da regulamentação de térmica de edifícios.

- Os valores de humidade relativa, em salas de aula do Caso de Estudo, mostram que os riscos de condensações superficiais são praticamente nulos, e que durante 70%, em média, do período de ocupação, estes se situam entre os valores de 30% e 60%, recomendados pela ASHRAE.
- A monitorização da concentração de CO₂, em salas de aula do Caso de Estudo, prova a melhoria substancial da qualidade do ar interior de uma situação original para uma situação de reabilitação com um sistema de ventilação predominantemente natural, com auxílio mecânico, cumprindo máximos de 1250ppm em valor de pico, em cerca de 90% do período de ocupação, com custos associados muito inferiores às soluções da Parque Escolar para o mesmo efeito. Relevante dizer que, como o cumprimento do limite regulamentar de 1250ppm é em concentração máxima permitida, ou seja, valor médio de um intervalo de oito horas contínuas, e a análise foi feita em valores de pico, o cumprimento deste limite pelas salas de aula ultrapassa os 90% do período letivo estudado.

Globalmente conclui-se que a reabilitação do edifício do Caso de Estudo, tanto em soluções construtivas como em sistemas de ventilação e climatização, revela-se significativamente menos dispendiosa que as intervenções de reabilitação da empresa Parque Escolar, em estabelecimentos escolares, nos últimos anos. Esta realidade acontece sem que exista uma diferença relevante de desempenho em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior. Sistemas e soluções construtivas devem ser meticulosamente dimensionados em próximas intervenções no parque escolar português, de forma a responder a solicitações climáticas e de qualidade do ambiente interior, sem que se descure os custos totais envolvidos. O Caso de Estudo apresentado e monitorizado nesta dissertação mostra-se uma alternativa de interesse técnico-económico relevante.

6.3. DESENVOLVIMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho e investigação feitos no presente trabalho são parte de uma realidade mais alargada, que necessita de mais respostas que as dadas neste trabalho e que as existentes atualmente. Alguns aspetos relevantes a ter em conta em trabalhos futuros são:

- As projeções da evolução do número de alunos matriculados no 2º e 3º ciclo do ensino básico e ensino secundário e dos estabelecimentos escolares que lecionam os mesmos, foi só feita para a região Norte, a NUTS II, projeções semelhantes para outras regiões do país seriam úteis na definição de uma estratégia de reabilitação nacional única, deste parque escolar.
- Numa próxima monitorização dever-se-á pensar e requisitar uma nova posição espacial das sondas dentro das salas de aula, não só para se cruzarem essas leituras, com as deste trabalho e as do anterior a este [44], e se retirarem conclusões relevantes, mas também para que o registo de leituras anómalas tenha uma frequência significativamente menor ou nula.
- A adoção e estudo de soluções de reabilitação semelhantes às utilizadas no Caso de Estudo, particularmente o sistema de ventilação, noutras locais com diferentes solicitações climáticas,

permitiria perceber a adequabilidade deste tipo de intervenção noutros climas e quais as alterações necessárias, no mesmo ou em soluções da envolvente para que a qualidade do ambiente interior fique garantida.

- Seria interessante, em trabalhos futuros, apresentarem-se números exatos e comparações entre os gastos energéticos e custos de exploração dos sistemas de ventilação e climatização de uma intervenção tipo da Parque Escolar com os dos sistemas utilizados na reabilitação do Caso de Estudo. Neste trabalho isso não foi possível por impossibilidade de acesso a documentação para o efeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - *Projeções de população residente 2012-2060*. Destaque - informação à comunicação social, Março, 2014, INE, Lisboa.
- [2] DGEEC - DIREÇÃO-GERAL DE ESTATÍSTICAS DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA - *Modelo de previsão do número de alunos em Portugal – impacto do alargamento da escolaridade obrigatória*. Estudos - Alargamento da escolaridade obrigatória, Setembro, 2013, DGEEC, Lisboa.
- [3] IGF - INSPEÇÃO GERAL DAS FINANÇAS - *Auditoria à empresa Parque Escolar, E.P.E.* Relatório n.º 1615/2011, Dezembro, 2011, IGF, Lisboa.
- [4] ALMEIDA, R.M.S.F., RAMOS, N.M.M., Simões, M. L. & Freitas, V.P. - *Application of advanced clustering techniques for analysis of energy and water consumption variability in school buildings*. 2013, Viseu.
- [5] DGEEC - DIREÇÃO-GERAL DE ESTATÍSTICAS DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA - *Número de Alunos - Previsões regionais*. DGEEC - Publicações, 2014, DGEEC, Lisboa.
- [6] COMISSÃO EUROPEIA - *Energy Efficiency Plan 2011*. COM(2011) 109 final, Março, 2011, Comissão Europeia, Bruxelas.
- [7] BPIE - BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE - *Europe's buildings under the microscope*. 2011, BPIE, Bruxelas.
- [8] BPIE - BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE - *Portugal country factsheet*. 2012. Consulta em Março de 2014.
- [9] APF - ASCAMM PRIVATE FOUNDATION - *ZEMEDS - Promoting renovation of schools in a mediterranean climate up to nearly zero-energy buildings*. 2013. Disponível em WWW: <http://www.eaci-projects.eu/iee/page/Page.jsp?op=project_detail&prid=2642>. Consulta em Março de 2014.
- [10] AEE - INSTITUTE FOR SUSTAINABLE TECHNOLOGIES - *School VentCool - Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations*. International Report, Março, 2013, School VentCool, Austria.
- [11] MORCK, O., ZINZI, M., GORRES, J., KEMPE, S., HOFLE, C., WEIB, N., BASLTISTINI, G., BERNABINI, G., BUVIK, K., ANDERSEN, G. & TANGEN, S. - *School of the Future - Towards Zero Emission with High Performance Indoor Environment*. Deliverable D6.1 Design Phase Report, Junho, 2013, Scholl of the Future, Roma.
- [12] MED - EUROPE IN THE MEDITERRANEAN - *Teenergy Schools - High energy efficiency schools in Mediterranean Area*
2009. Disponível em WWW: <<http://teenergy.commpla.com/>>. Consulta em Março de 2014.
- [13] ALMEIDA, R.M.S.F. *Avaliação do desempenho higrotérmico do parque escolar reabilitado*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011

- [14] REHVA - FEDERATION OF EUROPEAN HEATING AND AIR-CONDITIONING ASSOCIATIONS - *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas*. Manuel REHVA nº13, 2010, Ingenium Edições Lda., Lisboa.
- [15] ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. 2010, ASHRAE, Atlanta, USA.
- [16] CENTNEROVA, L. & HENSEN, J.L.M. - *Energy and indoor temperature consequences of adaptive thermal comfort standards*. Slovak society for environmental Technology, 2001, Bratislava.
- [17] ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *ISO 7730 - Ergonomics of Thermal Environment, Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. 2005, ISO, Gêneve, Switzerland.
- [18] ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. 2013, ASHRAE, Atlanta, USA.
- [19] MONIZ, G.C. - *A Construção do Programa Liceal: Arquitectura, Política e Ensino*. Congresso Internacional 450 Anos da Universidade de Évora, 2009, Évora.
- [20] <http://www.parque-escolar.pt/pt/programa/enquadramento-historico.aspx>. Consulta em Abril de 2014
- [21] <http://doportoenaoso.blogspot.pt/2010/09/os-planos-para-o-porto-dos-almadas-aos.html>. Consulta em Abril de 2014
- [22] PARQUE ESCOLAR E.P.E. - *Manual de Projecto: Arquitectura*. Lisboa, 2009:
- [23] PIEDADE, A.C.C. *Comportamento térmico de edifícios: Ensaio de aplicação a edifícios escolares*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1982
- [24] http://www.vmsa-arquitectos.com/pacos_manuel.swf. Consulta em Abril de 2014
- [25] PEREIRA, C.I.F. *Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário - Caso de estudo: Escolas Industriais e Comerciais*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Construção e Reabilitação, IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012
- [26] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 de Paranhos*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.07.2009, 2009, Porto.
- [27] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 Dr. Leonardo Coimbra Filho*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.08.2009, 2009, Porto.

- [28] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 do Viso*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.04.2009, 2009, Porto.
- [29] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 Manoel de Oliveira*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.05.2009, 2009, Porto.
- [30] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 da Areosa*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.01.2008, 2008, Porto
- [31] LFC - LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES - *Consultoria à Reabilitação de Escolas Básicas do 2.º e 3.º Ciclo. Escola EB 2,3 Irene Lisboa*. Relatório CMP/LFC-IC - 197.03.2008, 2008, Porto.
- [32] PROF. ENGº VASCO PEIXOTO DE FREITAS, LDA - *Apreciação do Ponto de Vista Higratérmico das Soluções Construtivas Propostas para a Envolvente da Escola Secundária Rocha Peixoto – Póvoa de Varzim*. Relatório HT 355R/08, 2008, Porto.
- [33] PROF. ENGº VASCO PEIXOTO DE FREITAS, LDA - *Apreciação do Ponto de Vista Higratérmico das Soluções Construtivas-Tipo Propostas para a Envolvente da Escola Secundária ES/EB3 Tomaz Pelayo - Santo Tirso*. Relatório HT 366R/09, 2009, Porto.
- [34] RECS - *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções*. Diário da República, 1.ª série — N.º 233, Portaria n.º 349-D/2013, Dezembro, Lisboa, 2013.
- [35] PROF. ENGº VASCO PEIXOTO DE FREITAS, LDA - *2.ª Fase da Reabilitação do Corpo IV - Projeto de Execução*. Porto, 2013:
- [36] RECS - *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços - Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior*. Diário da República, 1.ª série — N.º 233, Portaria n.º 353-A/2013, Dezembro, Lisboa, 2013.
- [37] RSECE - *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios*. Diário da República, I Série — A, Decreto-lei n.º 79/2006, Abril, Lisboa, 2006.
- [38] AWBI, H. - *Ventilation of Buildings*. 2nd Ed. E & FN Spon, New York, 2003:
- [39] PARQUE ESCOLAR E.P.E. - *Manual de Projecto: Instalações Técnicas*. Lisboa, 2009:
- [40] DUARTE, R. & PEREIRA, M. - *Consumo Energético, Conforto e Qualidade do Ar em Salas de Aula de Edifícios Escolares do Período JCETS - MOP*. Congresso Nacional da Construção, Dezembro, 2012, Coimbra.
- [41] CUSTÓDIO, M.G.C. *Eficiência Energética em Edifícios Escolares*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011
- [42] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - *Demand Control Ventilation*. International Energy Conservation Code - Building Energy Codes, Agosto, 2012, USA.

- [43] MARIPUU, M. - *Demand controlled ventilation for better IAQ and Energy Efficiency*. REHVA Journal, Março, 2011, REHVA, Sweden.
- [44] FARIA, D.J.A. *Caracterização do desempenho higratérmico em serviço de edifícios escolares reabilitados*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013

ANEXO I

Tipologia construtiva das escolas públicas com 2º ou 3º ciclo do ensino básico ou ensino secundário, na região Norte, a NUTS II

DISTRITO	CONCELHO	CICLOS	PARQUE ESCOLAR	TIPOLOGIA	ESCOLA
Aveiro	Arouca	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Arouca
Aveiro	Arouca	EBI/JI	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Escariz, Arouca
Aveiro	Arouca	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Arouca
Aveiro	Castelo de Paiva	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica do Couto Mineiro do Pejão, Raiva, Castelo de Paiva
Aveiro	Castelo de Paiva	EB2,3/S	Fase 2	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária de Castelo de Paiva
Aveiro	Espinho	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Domingos Capela, Silvalde, Espinho
Aveiro	Espinho	EB2,3/S	Fase 2	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica e Secundária Dr. Manuel Laranjeira, Espinho
Aveiro	Espinho	ES/3	Fase 1	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Dr. Manuel Gomes de Almeida, Espinho
Aveiro	Espinho	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Sá Couto, Espinho
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica Dr. José Pereira Tavares, Pinheiro da Bemposta, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Loureiro, Alumieira, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3/S	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária Dr. Ferreira da Silva, Cucujães, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Carregosa, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EBI/JI	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica Comendador Ângelo Azevedo, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	ES/3	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Soares Basto, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3/S	Fase 2	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária Ferreira de Castro, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Bento Carqueja, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Oliveira de Azeméis	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica e Secundária de Fajões, Oliveira de Azeméis
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Paços de Brandão, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Canedo, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Milheirós de Poiares, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Arrifana, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Corga do Lobão, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Argoncilhe, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Doutor Ferreira de Almeida, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica António Alves Amorim, Lourosa, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3/S	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Coelho e Castro, Fiães, Santa Maria da Feira
Aveiro	Santa Maria da Feira	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Fernando Pessoa, Santa Maria da Feira
Aveiro	São João da Madeira	ES/3	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Secundária João Silva Correia, São João da Madeira
Aveiro	São João da Madeira	EB2,3/S	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Oliveira Júnior, São João da Madeira
Aveiro	São João da Madeira	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Serafim Leite, São João da Madeira
Aveiro	São João da Madeira	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de São João da Madeira
Aveiro	Vale de Cambra	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica das Dairas, Vale de Cambra
Aveiro	Vale de Cambra	EB2,3/S	Fase 3	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária de Búzio, Vale de Cambra
Braga	Amares	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Amares
Braga	Amares	ES/3	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Amares
Braga	Barcelos	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Vale D Este, Viatodos, Barcelos
Braga	Barcelos	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária de Vale do Tamel, Lijó, Barcelos
Braga	Barcelos	ES/3	Fase 4	BLOCOS 3x3	Escola Secundária de Barcelinhos, Barcelos
Braga	Barcelos	EBI/S	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária de Vila Cova, Barcelos
Braga	Barcelos	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Abel Varzim, Barrancos, Barcelos
Braga	Barcelos	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Manhente, Barcelos
Braga	Barcelos	EBI	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Fragoso, Barcelos
Braga	Barcelos	ES/3	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Alcaides de Faria, Barcelos
Braga	Barcelos	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Barcelos
Braga	Barcelos	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Gonçalo Nunes, Arcozelo, Barcelos
Braga	Barcelos	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Rosa Ramalho, Barcelinhos, Barcelos
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica Dr. Francisco Sanches, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Palmeira, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Trigal de Santa Maria, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Lamações, Braga
Braga	Braga	ES/3	-	BLOCOS 3x3	Escola Secundária de Maximinos, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Mosteiro e Cávado, Panóias, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Braga Oeste, Cabreiros, Braga
Braga	Braga	ES/3	Fase 1	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Sá de Miranda, Braga

Braga	Braga	ES/3	-	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Carlos Amarante, Braga
Braga	Braga	ES/3	Fase 2	JCETS – LICEU	Escola Secundária D. Maria II, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Celeirós, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Real, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Gualtar, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Nogueira, Braga
Braga	Braga	ESA	-	OUTRAS	Escola Artística do Conservatório de Música Calouste Gulbenkian, Braga
Braga	Braga	ES/3	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Alberto Sampaio, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica Frei Caetano Brandão, Maximinos, Braga
Braga	Braga	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica André Soares, Braga
Braga	Cabeceiras de Basto	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Arco de Baúlhe, Cabeceiras de Basto
Braga	Cabeceiras de Basto	EB2,3/S	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Cabeceiras de Basto
Braga	Celorico de Basto	EB2,3/S	Fase 4	BLOCOS 3x3	Escola Básica e Secundária de Celorico de Basto
Braga	Celorico de Basto	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Mota, Celorico de Basto
Braga	Celorico de Basto	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Gandarela, Celorico de Basto
Braga	Esposende	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica Antonio Correia Oliveira, Esposende
Braga	Esposende	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica das Marinhas, Esposende
Braga	Esposende	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Apúlia, Esposende
Braga	Esposende	ES/3	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Henrique Medina, Esposende
Braga	Esposende	EBI	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica do Baixo Neiva, Esposende
Braga	Fafe	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Montelongo, Fafe
Braga	Fafe	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Arões - Santa Cristina, Fafe
Braga	Fafe	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Silves, São Martinho, Fafe
Braga	Fafe	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Padre Joaquim Flores, Revelhe, Fafe
Braga	Fafe	ES/3	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Fafe
Braga	Fafe	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Prof. Carlos Teixeira, Fafe
Braga	Guimarães	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica das Taipas, Caldas das Taipas, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica de Pevidém, Selho - São Jorge, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	BLOCOS 3x3	Escola Básica Gil Vicente, Urgeses, Guimarães
Braga	Guimarães	ES/3	Fase 2	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Caldas das Taipas, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária Santos Simões, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Abação, Guimarães
Braga	Guimarães	ES/3	Fase 2	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Francisco de Holanda, Guimarães
Braga	Guimarães	ES/3	Fase 3	JCETS – LICEU	Escola Secundária Martins Sarmento, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Briteiros, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Egas Moniz, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Arqueólogo Mário Cardoso, Vila de Ponte, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Virgínia Moura, Moreira de Cónegos, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Prof. Abel Salazar, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Fermentões, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica do Vale de São Torcato, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica D. Afonso Henriques, Creixomil, Guimarães
Braga	Guimarães	EB2,3	-	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica Prof. João de Meira, Guimarães
Braga	Póvoa de Lanhoso	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Póvoa de Lanhoso
Braga	Póvoa de Lanhoso	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica do Ave, Póvoa de Lanhoso
Braga	Póvoa de Lanhoso	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Gonçalo Sampaio, Póvoa de Lanhoso
Braga	Terras de Bouro	EB2,3/S	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Rio Caldo, Terras de Bouro
Braga	Terras de Bouro	EBI/S	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Terras de Bouro
Braga	Vieira do Minho	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Vieira de Araújo, Vieira do Minho
Braga	Vila Nova de Famalicão	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica D. Maria II, Gavião, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Júlio Brandão, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Bernardino Machado, Joane, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Vale do Este, Arnoso - Santa Maria, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Pedome, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Dr. Nuno Simões, Calendário, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	ES/3	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária D. Sancho I, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EBI	-	OUTRAS	Escola Básica de Gondifelos, Vila Nova de Famalicão

Braga	Vila Nova de Famalicão	ES/3	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Camilo Castelo Branco, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	ES/3	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Padre Benjamim Salgado, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Nova de Famalicão	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO / BLOCOS 3X3	Escola Básica de Ribeirão, Vila Nova de Famalicão
Braga	Vila Verde	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Moure e Ribeira do Neiva, Ribeira, Vila Verde
Braga	Vila Verde	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Ribeira do Neiva, Vila Verde
Braga	Vila Verde	EBI	-	MONOBLOCO	Escola Básica Monsenhor Elísio Araújo, Vila Verde
Braga	Vila Verde	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica de Vila Verde
Braga	Vila Verde	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Vila Verde
Braga	Vila Verde	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Prado, Vila Verde
Braga	Vizela	ES/3	Fase 3	BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Caldas de Vizela, Vizela
Braga	Vizela	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Ínfias, Vizela
Braga	Vizela	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO / BLOCOS 3X3	Escola Básica de Caldas de Vizela, Vizela
Bragança	Alfândega da Fé	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica e Secundária de Alfândega da Fé
Bragança	Bragança	EBI	-	BASE LICEAL	Escola Básica Augusto Moreno, Bragança
Bragança	Bragança	ES/3	Fase 2	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Abade de Baçal, Bragança
Bragança	Bragança	ES/3	Fase 3	JCETS – LICEU	Escola Secundária Emídio Garcia, Bragança
Bragança	Bragança	EB2,3/S	-	OUTRAS	Escola Básica e Secundária Miguel Torga, Bragança
Bragança	Bragança	EBI/JI	-	OUTRAS	Escola Básica de Izeda, Bragança
Bragança	Bragança	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica Paulo Quintela, Bragança
Bragança	Carrazeda de Ansiães	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Carrazeda de Ansiães
Bragança	Freixo de Espada à Cinta	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Freixo de Espada à Cinta
Bragança	Macedo de Cavaleiros	EBI/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE LICEAL / BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Macedo de Cavaleiros
Bragança	Miranda do Douro	EBI	-	OUTRAS	Escola Básica de Sendim, Miranda do Douro
Bragança	Miranda do Douro	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Miranda do Douro
Bragança	Mirandela	EB1,2	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Torre de Dona Chama, Mirandela
Bragança	Mirandela	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Luciano Cordeiro, Mirandela
Bragança	Mirandela	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Secundária de Mirandela
Bragança	Mogadouro	EB2,3/S	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária do Mogadouro
Bragança	Torre de Moncorvo	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Dr. Ramiro Salgado, Torre de Moncorvo
Bragança	Vila Flor	EB2,3/S	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Vila Flor
Bragança	Vimioso	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Vimioso
Bragança	Vinhais	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária D. Afonso III, Vinhais
Guarda	Vila Nova de Foz Côa	EBI/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária Tenente Coronel Adão Carrapatoso, Vila Nova de Foz Côa
Porto	Amarante	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Amadeo de Souza Cardoso, Telões, Amarante
Porto	Amarante	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Marão, Várzea, Amarante
Porto	Amarante	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Vila Caiz, Amarante
Porto	Amarante	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica de Amarante
Porto	Amarante	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Amarante
Porto	Baião	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Eiriz, Ancede, Baião
Porto	Baião	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Sudeste do Concelho de Baião
Porto	Baião	EBI/S	Fase 3	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Vale de Ovil, Baião
Porto	Felgueiras	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Dr. Leonardo Coimbra, Lixa, Felgueiras
Porto	Felgueiras	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Lagares, Felgueiras
Porto	Felgueiras	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária de Idães, Felgueiras
Porto	Felgueiras	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária de Airães, Felgueiras
Porto	Felgueiras	EB2,3/S	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Felgueiras
Porto	Felgueiras	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária da Lixa, Felgueiras
Porto	Felgueiras	ES/3	Fase 3	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Felgueiras
Porto	Felgueiras	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica D. Manuel de Faria e Sousa, Margaride, Felgueiras
Porto	Gondomar	ES/3	Fase 2	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Rio Tinto, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Frei Manuel de Santa Inês, Baguim do Monte, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária À Beira Douro, Medas, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Santa Bárbara, Fânzeres, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de São Pedro da Cova, Gondomar
Porto	Gondomar	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de São Pedro da Cova, Gondomar
Porto	Gondomar	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Valbom, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica n.º 2 de Rio Tinto, Gondomar

Porto	Gondomar	ES/3	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária de Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Jovim e Foz do Sousa, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Marques Leitão, Valbom, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica de Rio Tinto, Gondomar
Porto	Gondomar	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Gondomar
Porto	Lousada	ES/3	Fase 2	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Lousada
Porto	Lousada	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Lousada Oeste
Porto	Lousada	EB2,3/S	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária de Lousada Norte
Porto	Lousada	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Lousada Este, Lousada
Porto	Lousada	EB2,3	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Nogueira, Lousada
Porto	Lousada	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Lousada Centro, Lousada
Porto	Maia	ES/3	Fase 2	BLOCOS 3X3	Escola Secundária da Maia
Porto	Maia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Castelo da Maia, Maia
Porto	Maia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Pedrouços, Maia
Porto	Maia	EB2,3/S	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária do Levante da Maia, Nogueira da Maia, Maia
Porto	Maia	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica Dr. Vieira de Carvalho, Moreira da Maia, Maia
Porto	Maia	EB2,3/S	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Águas Santas, Maia
Porto	Maia	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica Gonçalo Mendes da Maia, Vermoim, Maia
Porto	Maia	ES/3	Fase 3	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Castelo da Maia, Maia
Porto	Maia	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Gueifães, Maia
Porto	Marco de Canaveses	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Alpendurada, Marco de Canaveses
Porto	Marco de Canaveses	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Sande, Marco de Canaveses
Porto	Marco de Canaveses	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Marco de Canaveses
Porto	Marco de Canaveses	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Toutosa, Marco de Canaveses
Porto	Marco de Canaveses	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Secundária de Marco de Canaveses
Porto	Marco de Canaveses	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Alpendurada, Marco de Canaveses
Porto	Matosinhos	EBI/JI	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA / BLOCOS 3X3	Escola Básica da Barranha, Senhora da Hora, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Prof. Óscar Lopes, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Custóias, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Leça do Balio, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Senhora da Hora, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Maria Manuela Sá, São Mamede de Infesta, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária da Senhora da Hora, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Perafita, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	Fase 1	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária João Gonçalves Zarco, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Dr. José Domingues dos Santos, Cabanelas, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Irmãos Passos, Guifões, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Secundária Augusto Gomes, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Abel Salazar, São Mamede de Infesta, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária da Boa Nova, Leça da Palmeira, Matosinhos
Porto	Matosinhos	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Padrão da Légua, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EBI/JI	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica Eng. Fernando Pinto de Oliveira, Leça da Palmeira, Matosinhos
Porto	Matosinhos	EBI/JI	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Matosinhos
Porto	Paços de Ferreira	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Frazão, Paços de Ferreira
Porto	Paços de Ferreira	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Paços de Ferreira
Porto	Paços de Ferreira	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Eiriz, Paços de Ferreira
Porto	Paços de Ferreira	EB2,3/S	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Freamunde, Paços de Ferreira
Porto	Paços de Ferreira	ES/3	Fase 2	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Secundária de Paços de Ferreira
Porto	Paços de Ferreira	EB2	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Dr. Manuel Pinto de Vasconcelos, Freamunde, Paços de Ferreira
Porto	Paredes	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Paredes
Porto	Paredes	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Cristelo, Paredes
Porto	Paredes	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Rebordosa, Paredes
Porto	Paredes	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Vilela, Paredes
Porto	Paredes	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Daniel Faria, Baltar, Paredes
Porto	Paredes	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Baltar, Paredes
Porto	Paredes	ES/3	Fase 2	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Secundária de Paredes
Porto	Paredes	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Sobreira, Paredes

Porto	Paredes	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica e Secundária de Lordelo, Paredes
Porto	Penafiel	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica D. António Ferreira Gomes, Milhundos, Penafiel
Porto	Penafiel	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Pinheiro, Penafiel
Porto	Penafiel	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Joaquim de Araújo, Guilhufe, Penafiel
Porto	Penafiel	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Penafiel Sudeste
Porto	Penafiel	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Penafiel Sul
Porto	Penafiel	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Paço de Sousa, Penafiel
Porto	Penafiel	ES/3	Fase 1	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Penafiel
Porto	Porto	EB2,3	-	BASE TÉCNICA	Escola Básica Francisco Torrinha, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	BASE TÉCNICA	Escola Básica Gomes Teixeira, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	BASE TÉCNICA	Escola Básica Ramalho Ortigão, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Pêro Vaz de Caminha, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Viso, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Manoel de Oliveira, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 2	JCETS – ESCOLA COMERCIAL	Escola Secundária Filipa de Vilhena, Porto
Porto	Porto	ESA	Fase 0	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL	Escola Artística Soares dos Reis, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL	Escola Secundária Infante D. Henrique, Porto
Porto	Porto	EB2,3/S	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Básica e Secundária Clara de Resende, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 1	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Aurélia de Sousa, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 1	JCETS – LICEU	Escola Secundária Carolina Michaelis, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 0	LICEU HISTÓRICO	Escola Básica e Secundária Rodrigues de Freitas, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 3	LICEU HISTÓRICO	Escola Secundária Alexandre Herculano, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica da Areosa, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Irene Lisboa, Cedofeita, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Nicolau Nasoni, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica Augusto Gil, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Miragaia, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica Maria Lamas, Porto
Porto	Porto	ES/3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Secundária António Nobre, Porto
Porto	Porto	EB2,3/S	Fase 1	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária do Cerco, Porto
Porto	Porto	EB2,3/S	Fase 2	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Fontes Pereira de Melo, Porto
Porto	Porto	ES/3	Fase 1	JCETS – LICEU	Escola Secundária Garcia de Orta, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica Dr. Augusto César Pires de Lima, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Leonardo Coimbra - Filho, Porto
Porto	Porto	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Eugénio de Andrade, Porto
Porto	Póvoa de Varzim	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Cego do Maio, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Aver-o-Mar, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Rates, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	ES/3	Fase 1	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Rocha Peixoto, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	ES/3	-	JCETS – LICEU	Escola Secundária Eça de Queirós, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Campo Aberto, Beiriz, Póvoa de Varzim
Porto	Póvoa de Varzim	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO / BLOCOS 3X3	Escola Básica Dr. Flávio Gonçalves, Povo de Varzim
Porto	Santo Tirso	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária D. Afonso Henriques, Aves, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de São Martinho, São Martinho do Campo, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	ES/3	Fase 2	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Tomaz Pelayo, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica da Agrela e Vale do Leça, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EBI	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica da Ponte, Vila das Aves, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EBI/JI	-	OUTRAS - RECENTE	Escola Básica S. Tomé de Negrelos, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária D. Dinis, Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Santo Tirso
Porto	Santo Tirso	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Ave, Vila das Aves, Santo Tirso
Porto	Trofa	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Coronado e Covelas, São Romão do Coronado, Trofa
Porto	Trofa	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica do Castro, Alvarelhos, Trofa
Porto	Trofa	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária da Trofa
Porto	Trofa	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Prof. Napoleão Sousa Marques, São Martinho de Bougado, Trofa
Porto	Valongo	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Alfena, Valongo
Porto	Valongo	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Valongo

Porto	Valongo	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Alfena, Valongo
Porto	Valongo	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica D. António Ferreira Gomes, Ermesinde, Valongo
Porto	Valongo	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Campo, Valongo
Porto	Valongo	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de São João do Sobrado, Sobrado, Valongo
Porto	Valongo	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Ermesinde, Valongo
Porto	Valongo	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica de São Lourenço, Ermesinde, Valongo
Porto	Valongo	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica de Vallis Longus, Valongo
Porto	Vila do Conde	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Maria Pais Ribeiro - A Ribeirinha, Macieira, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica D. Pedro IV, Mindelo, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Júlio Saúl Dias, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Dr. Carlos Pinto Ferreira, Junqueira, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	ES	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária D. Afonso Sanches, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	ES/3	Fase 1	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária José Régio, Vila do Conde
Porto	Vila do Conde	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Frei João de Vila do Conde, Vila do Conde
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	Fase 2	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Inês de Castro, Canidelo, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Escultor António Fernandes Sá, Gervide, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Vila D Este, Vilar de Andorinho, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Adriano Correia de Oliveira, Avintes, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica D. Pedro I, Canidelo, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Anes de Cernache, Vilar de Andorinho, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Carvalhos, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Diogo de Macedo, Olival, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Arquitecto Oliveira Ferreira, Praia da Granja, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Madalena, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	BLOCOS 3X3 / PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica do Olival, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	Fase 1	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária António Sérgio, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	Fase 3	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária Almeida Garrett, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Santa Marinha, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Júlio Dinis, Grijó, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Oliveira do Douro, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	ES/3	Fase 2	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Secundária Dr. Joaquim Gomes Ferreira Alves, Valadares, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica de Valadares, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3/S	Fase 3	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Canelas, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Padre António Luis Moreira, Carvalhos, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Soares dos Reis, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica Sophia de Mello Breyner, Arcozelo, Vila Nova de Gaia
Porto	Vila Nova de Gaia	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Dr. Costa Matos, Vila Nova de Gaia
Viana do Castelo	Arcos de Valdevez	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Távora, Santa Maria, Arcos de Valdevez
Viana do Castelo	Arcos de Valdevez	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA / BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Valdevez, Arcos de Valdevez
Viana do Castelo	Caminha	EB1,2	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica do Vale do Âncora, Vila Praia de Âncora, Caminha
Viana do Castelo	Caminha	EB2,3/S	Fase 4	TIPO BRANDÃO	Escola Básica e Secundária Sidónio Pais, Vilarelho, Caminha
Viana do Castelo	Melgaço	EB2,3/S	Fase 4	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Melgaço
Viana do Castelo	Monção	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Deu-la-Deu Martins, Monção
Viana do Castelo	Monção	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária de Monção
Viana do Castelo	Monção	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Vale do Mouro, Tangil, Monção
Viana do Castelo	Paredes de Coura	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária de Paredes de Coura
Viana do Castelo	Ponte da Barca	EBI/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Ponte da Barca
Viana do Castelo	Ponte de Lima	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Arcozelo, Ponte de Lima
Viana do Castelo	Ponte de Lima	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Freixo, Ponte de Lima
Viana do Castelo	Ponte de Lima	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Correlhã, Ponte de Lima
Viana do Castelo	Ponte de Lima	ES/3	Fase 3	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Ponte de Lima
Viana do Castelo	Ponte de Lima	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica António Feijó, Ponte de Lima
Viana do Castelo	Valença	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA / BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Muralhas do Minho, Valença
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Dr. Pedro Barbosa, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Abelheira, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária Pintor José de Brito, Santa Marta de Portuzelo, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Arga e Lima, Lanheses, Viana do Castelo

Viana do Castelo	Viana do Castelo	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica da Foz do Neiva, Castelo do Neiva, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	ES	Fase 2	JCETS – ESCOLA INDUSTRIAL E COMERCIAL	Escola Secundária de Monserrate, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	ES	Fase 3	JCETS – LICEU	Escola Secundária de Santa Maria Maior, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Darque, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE LICEAL / BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Barrocelas, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Frei Bartolomeu dos Mártires, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Viana do Castelo	EB2,3/S	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica e Secundária de Monte da Ola, Viana do Castelo
Viana do Castelo	Vila Nova de Cerveira	EB2,3/S	-	MONOBLOCO	Escola Básica e Secundária de Vila Nova de Cerveira
Vila Real	Alijó	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3 / PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica e Secundária D. Sancho II, Alijó
Vila Real	Alijó	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica do Pinhão, Alijó
Vila Real	Boticas	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica Gomes Monteiro, Boticas
Vila Real	Chaves	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Vidago, Chaves
Vila Real	Chaves	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Dr. António Granjo, Chaves
Vila Real	Chaves	ES/3	Fase 3	JCETS – LICEU	Escola Secundária Dr. Júlio Martins, Chaves
Vila Real	Chaves	ES/3	Fase 4	JCETS - LICEU - ESPECIAL	Escola Secundária Fernão de Magalhães, Chaves
Vila Real	Chaves	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica Dr. Francisco Gonçalves Carneiro, Chaves
Vila Real	Chaves	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica Nadir Afonso, Chaves
Vila Real	Mesão Frio	EB2,3/S	-	PAVILHONAR BASE LICEAL	Escola Básica e Secundária Prof. António da Natividade, Mesão Frio
Vila Real	Mondim de Basto	EB2,3/S	Fase 4	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica e Secundária de Mondim de Basto
Vila Real	Montalegre	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária do Baixo Barroso, Venda Nova, Montalegre
Vila Real	Montalegre	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Dr. Bento Cruz, Montalegre
Vila Real	Murça	EB2,3/S	Fase 4	TIPO BRANDÃO	Escola Básica e Secundária de Murça
Vila Real	Peso da Régua	ES/3	Fase 2	PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Secundária Dr. João de Araújo Correia, Peso da Régua
Vila Real	Peso da Régua	EB2,3	-	PRÉ-FABRICAÇÃO - RECENTE	Escola Básica de Peso da Régua
Vila Real	Ribeira de Pena	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica de Cerva, Ribeira de Pena
Vila Real	Ribeira de Pena	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3 - RECENTE	Escola Básica e Secundária de Ribeira de Pena
Vila Real	Sabrosa	EB2,3/S	Fase 4	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Básica e Secundária Miguel Torga, Sabrosa
Vila Real	Santa Marta de Penaguião	EB2,3	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica de Santa Marta de Penaguião
Vila Real	Valpaços	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica Júlio do Carvalhal, Valpaços
Vila Real	Valpaços	ES/3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Valpaços
Vila Real	Valpaços	EBI/JI	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica José dos Anjos, Carrizado de Montenegro, Valpaços
Vila Real	Vila Pouca de Aguiar	EBI/JI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Vila Pouca de Aguiar - Sul
Vila Real	Vila Pouca de Aguiar	EBI	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica de Pedras Salgadas, Vila Pouca de Aguiar
Vila Real	Vila Real	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Monsenhor Jerónimo do Amaral, Vila Real
Vila Real	Vila Real	ES/3	-	BLOCOS 3X3	Escola Secundária Morgado de Mateus, Vila Real
Vila Real	Vila Real	ES/3	Fase 3	JCETS – LICEU	Escola Secundária São Pedro, Vila Real
Vila Real	Vila Real	ES/3	Fase 4	JCETS – LICEU	Escola Secundária Camilo Castelo Branco, Vila Real
Vila Real	Vila Real	EB2,3	-	TIPO BRANDÃO	Escola Básica Diogo Cão, Vila Real
Viseu	Armamar	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica Gomes Teixeira, Armamar
Viseu	Cinfães	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica General Serpa Pinto, Cinfães
Viseu	Cinfães	EB2,3	-	MONOBLOCO	Escola Básica de Souselo, Cinfães
Viseu	Cinfães	ES/3	-	PAVILHONAR BASE TÉCNICA	Escola Secundária Professor Doutor Flávio F. Pinto Resende, Cinfães
Viseu	Lamego	ES/3	Fase 3	LICEU HISTÓRICO	Escola Secundária Latino Coelho, Lamego
Viseu	Lamego	EB2,3	-	OUTRAS	Escola Básica de Lamego
Viseu	Lamego	EB2,3/S	-	OUTRAS	Escola Básica e Secundária da Sé, Lamego
Viseu	Moimenta da Beira	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de Moimenta da Beira
Viseu	Penedono	EBI	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Álvaro Coutinho - O Magriço, Penedono
Viseu	Resende	ES/3	Fase 3	BASE TÉCNICA	Escola Secundária de Resende
Viseu	Resende	EB2	-	PAVILHONAR PRÉ-FABRICAÇÃO	Escola Básica D. António José de Castro, Resende
Viseu	São João da Pesqueira	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária de São João da Pesqueira
Viseu	Sernancelhe	EB2,3	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica Padre João Rodrigues, Veiga, Sernancelhe
Viseu	Tabuaço	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária Abel Botelho, Tabuaço
Viseu	Tarouca	EB2,3/S	-	BLOCOS 3X3	Escola Básica e Secundária Dr. José Leite de Vasconcelos, Tarouca

ANEXO II

Horários de ocupação teórica das salas monitorizadas

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DAS SALAS MONOTORIZADAS

OCUPADO

SALA - 0.1	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
8:15-9:00					
9:05-9:50					
10:05-10:50					
10:55-11:40					
11:55-12:40					
12:45-13:00					
14:30-15:15					
15:20-16:05					
16:15-17:00					
17:05-17:50					

SALA - 0.2	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
8:15-9:00					
9:05-9:50					
10:05-10:50					
10:55-11:40					
11:55-12:40					
12:45-13:00					
14:30-15:15					
15:20-16:05					
16:15-17:00					
17:05-17:50					

SALA - 2.1	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
8:15-9:00					
9:05-9:50					
10:05-10:50					
10:55-11:40					
11:55-12:40					
12:45-13:00					
14:30-15:15					
15:20-16:05					
16:15-17:00					
17:05-17:50					

SALA - 2.2	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
8:15-9:00					
9:05-9:50					
10:05-10:50					
10:55-11:40					
11:55-12:40					
12:45-13:00					
14:30-15:15					
15:20-16:05					
16:15-17:00					
17:05-17:50					